Die Kosten der Erd- und Felsbewegungsarbeiten.

Von Ferdinand Hoffmann,
k. k. Eisenbahnbau-Inspector.

(Fortsetzung.)

I. Kosten des Transportes auf Schifffahrts-Canälen.

79. Wesentlich anders, als bei den unter 68 und den darauffolgenden Artikeln besprochenen Transportweisen stellen sich die Wassertransportkosten, wenn das Fahrzeug auf Schifffahrtscanälen, d. i. auf stillstehenden Wässern zu bewegen ist. Um diese Transportkosten für einen speciellen Fall durchzuführen, werden hier die für den Wiener-Neustädter-Schifffahrtscanal vorliegenden Erfahrungen benutzt werden. Auf diesem zieht ein Pferd, welches von dem dasselbe begleitenden Knechte geleitet wird, im Durchschnitt 450 Ctr. an Nettolast.

Die täglichen Betriebskosten bestehen in dem Taglohne eines Kranzlmeisters, eines Schiffmannes und des Pferdes sammt dem Knecht oder es ist mit Beibehaltung der letzlichen Bezeichnungen

$$f = k + s + 0{,}5\,p$$

Will k, s und p in Handlangertagschichten ausgedrückt werden, so hat man unter den erwähnten Umständen

$$k = 3\,t,\ s = 2\,t,\ \text{und}\ p = 12\,t$$

zu setzen: als Schadloshaltung für die Abnützung des Schiffes und der Schiffsrequisiten, ist der Taglohn t eines Handlangers um 75 pCt. höher als er wirklich steht, einzuführen.

Die Anzahl der täglichen Arbeitsstunden bleibt dieselbe, wie für das unter 68 und den darauffolgenden Artikeln besprochene Transportmittel, d. i. = 9 Stunden.

Als Ladungsfähigkeit ergeben sich unter Berücksichtigung der Material-Categorien und Bemessungs-Modalitäten nachfolgende Werthe:

Bei Bemessung der Vergütung nach dem Cubicinhalte des compacten Auftrages für das Materiale

I. Categ.	$n = 2{,}3148$	Cubic-Klafter.
II. „	$n = 2{,}0833$	„
III. „	$n = 1{,}8939$	„
IV. „	$n = 1{,}7361$	„
V. „	$n = 1{,}6026$	„
VI. „	$n = 1{,}4881$	„

Bei Bemessung der Vergütung nach dem Cubicinhalte der lockeren Auftragsmassen für das Materiale:

I. Categ.	$n = 2{,}5463$	Cubic-Klafter.
II. „	$n = 2{,}3541$	„
III. „	$n = 2{,}1969$	„
IV. „	$n = 2{,}0660$	„
V. „	$n = 1{,}9552$	„
VI. „	$n = 1{,}8601$	„

Bei Bemessung der Vergütung nach dem Cubicinhalte der noch lockeren Ablagerungen für das Materiale:

I. Categ.	$n = 2{,}7777$	Cubic-Klafter.
II. „	$n = 2{,}5416$	„
III. „	$n = 2{,}3484$	„
IV. „	$n = 2.1875$	„
V. „	$n = 2{,}0513$	„
VI. „	$n = 1{,}9345$	„

Die Geschwindigkeit des Transportmittels beträgt ohne Berücksichtigung des Aufenthaltes bei Passirung der Schleusenkammern 3200 Klafter, mit Berücksichtigung dieses Aufenthaltes aber 2800 Klafter pr. Stunde: die erstere wird alsdann einzuführen sein, wenn der Transport auf einem See entlang der Ufer desselben Platz zu greifen hätte, also eine Passirung von Schleusenkammern nicht nothwendig wäre.

Der für die Bewegung des Schiffes in Rechnung zu bringende Zeitverlust belauft sich auf $z = 0{,}30$ Stunden und wird durch das Umspannen des Pferdes von dem leeren nach dem beladenen Fahrzeuge und umgekehrt veranlasst.

80. Führt man die oben ermittelten speciellen Werthe in die allgemeinen Transportkosten-Formel des Art. 32 statt der darin enthaltenen Grössen ein, so geht dieselbe für die Bewegung auf schiffbaren mit Schleusenkammern versehenen Canäle über in nachfolgende specielle Formeln und zwar:

1. Wenn die Vergütung nach dem Cubicmaasse der Abträge bemessen wird, bei dem Materiale:

I. Catg.	$k = (0{,}00003424\,w + 0{,}01438)\,(k + s + 0{,}5p)$	Gd.
II. „	$k = (0{,}00003810\,w + 0{,}01600)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
III. „	$k = (0{,}00004190\,w + 0{,}01800)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
IV. „	$k = (0{,}00004571\,w + 0{,}01920)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
V. „	$k = (0{,}00004952\,w + 0{,}02080)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
VI. „	$k = (0{,}00005333\,w + 0{,}02240)\,(k + s + 0{,}5p)$	„

2. Wenn die Vergütung nach dem Cubicinhalte der Aufträge erfolgen soll, bei dem Materiale:

I. Catg.	$k = (0{,}00003117\,w + 0{,}01309)\,(k + s + 0{,}5p)$	Gd.
II. „	$k = (0{,}00003310\,w + 0{,}01390)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
III. „	$k = (0{,}00003579\,w + 0{,}01503)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
IV. „	$k = (0{,}00003842\,w + 0{,}01614)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
V. „	$k = (0{,}00004055\,w + 0{,}01702)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
VI. „	$k = (0{,}00004267\,w + 0{,}01792)\,(k + s + 0{,}5p)$	„

3. Wenn die Vergütung nach dem Cubicinhalte der Ablagerungen bemessen wird, bei dem Materiale:

I. Catg.	$k = (0{,}00002857\,w + 0{,}01200)\,(k + s + 0{,}5p)$	Gd.
II. „	$k = (0{,}00003122\,w + 0{,}01311)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
III. „	$k = (0{,}00003372\,w + 0{,}01416)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
IV. „	$k = (0{,}00003628\,w + 0{,}01524)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
V. „	$k = (0{,}00003869\,w + 0{,}01625)\,(k + s + 0{,}5p)$	„
VI. „	$k = (0{,}00004103\,w + 0{,}01723)\,(k + s + 0{,}5p)$	„

Nehmen k, s und p die im vorigen Artikel angeführten speciellen Werthe an, so erhält man statt der vorhergehenden die nachfolgenden Ausdrücke zur Berechnung der Verführungskosten und zwar:

1. Wenn die Vergütung der Leistung nach dem Cubicinhalte bemessen werden soll:

I. Categ.	$k = (0{,}00037664\ w + 0{,}15818)\ t$	Gulden.
II. „	$k = (0{,}00041910\ w + 0{,}17600)\ t$	„
III. „	$k = (0{,}00046090\ w + 0{,}19800)\ t$	„
IV. „	$k = (0{,}00050281\ w + 0{,}21120)\ t$	„
V. „	$k = (0{,}00054472\ w + 0{,}22880)\ t$	„
VI. „	$k = (0{,}00058663\ w + 0{,}24640)\ t$	„

2. Wenn die ergütung der Leistung nach dem Cubicinhalte des Auftrages geschieht, bei dem Materiale:

I. Categ. $k = (0{,}00034287\ w + 0{,}14399)\ t$ Gulden.
II. „ $k = (0{,}00036410\ w + 0{,}15290)\ t$ „
III. „ $k = (0{,}00039366\ w + 0{,}16533)\ t$ „
IV. „ $k = (0{,}00042262\ w + 0{,}17754)\ t$ „
V. „ $k = (0{,}00044585\ w + 0{,}18722)\ t$ „
VI. „ $k = (0{,}00046937\ w + 0{,}19712)\ t$ „

3. Wenn endlich der Bemessung der zu leistenden Vergütung das Cubicmaass der Ablagerung zu Grunde gelegt wird, bei dem Materiale:

I. Categ. $k = (0{,}00031432\ w + 0{,}13200)\ t$ Gulden.
II. „ $k = (0{,}00034342\ w + 0{,}14421)\ t$ „
III. „ $k = (0{,}00037092\ w + 0{,}15576)\ t$ „
IV. „ $k = (0{,}00039908\ w + 0{,}16766)\ t$ „
V. „ $k = (0{,}00042559\ w + 0{,}17875)\ t$ „
VI. „ $k = (0{,}00045133\ w + 0{,}18953)\ t$ „

Ist wieder $t = 0{,}70$ Gulden, so ergeben sich unter Zuschlag von 75 pCt. für die Abnützung des Schiffes sammt Requisiten nachfolgende:

Transportkosten für Wasserfahrzeuge, welche auf schiffbaren Canälen durch Pferdekraft bewegt werden.

Verführ.-Dist.	Bei Abträgen						Bei Aufträgen						Bei Ablagerungen					
	Categorie																	
Klftr.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	I.	II	III.	IV.	V.	VI.
1000	0,66	0,73	0,80	0,87	0.95	1,02	0.58	0,63	0,68	0,73	0,78	0,82	0,55	0,60	0.65	0,69	0,74	0,78
1500	0,88	0,99	1,09	1,18	1,28	1,38	0,80	0,86	0.93	9,99	1,05	1,10	0,74	0,81	0,87	0,94	1,00	1,06
2000	1,12	1,24	1,37	1,49	1,61	1,74	1,01	1,08	1,17	1,25	1,32	1,39	0,98	1,02	1,10	1,18	1,26	1,34
2500	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95	2.10	1,22	1,30	1.41	1,51	1,59	1,68	1,12	1,23	1,33	1,43	1,52	1,61
3000	1,58	1,76	1,94	2,11	2,28	2,46	1,43	1,53	1,65	1,77	1,87	1,97	1,82	1,44	1,55	1,67	1,78	1,89
3500	1,81	2,01	2,22	2,41	2,61	2,81	1,64	1.75	1,89	2,03	2,14	2,25	1,51	1,65	1,78	1,92	2,04	2,17
4000	2,04	2,27	2,50	2,72	2,95	3,18	1,85	1.97	2,13	2,29	2,41	2 54	1,70	1,86	2,01	2,16	2,30	2,44
4500	2,27	2,53	2,78	3,03	3,28	3,54	2,06	2,19	2,37	2,55	2,69	2 83	1,89	2,07	2,24	2,40	2,56	2,72
5000	2,51	2,78	3,07	3,34	3.62	3,89	2,27	2,42	2,61	2,81	2,96	3,12	2,09	2,28	2,46	2,65	2,82	3,00
5500	2,73	3,04	3,35	3,65	3,95	4,25	2,48	2,64	2,85	3,06	3,23	3,40	2,28	2,49	2,69	2,89	3,09	3,27
6000	2,96	3,30	3,63	3,95	4,28	4,61	2,69	2,86	3,10	3,32	3,51	3.69	2.47	2.70	2,92	3,14	3,35	3,55
6500	3,19	3,55	3,91	4,26	4,62	4,97	2,90	3,09	3,34	3,58	3,80	3,98	2,66	2,91	3,14	3,38	3,61	3,82
7000	3,42	3,81	4,19	4,57	4,95	5,33	3,11	3,31	3,58	3,84	4,05	4,27	2,86	2,12	3 37	3,63	3,87	4,10
8000	3,88	4,32	4,76	5,19	5,62	6,05	3,53	3,76	4,06	4,36	4,59	4,84	3,24	3,54	3,83	4,11	4,39	4,66
9000	4,34	4,84	5,32	5,80	6,28	6,77	3,95	4,20	4,54	4.88	5,14	5,42	3,62	3,96	4,28	4,60	4,91	5,21
10000	4,81	5,35	5,89	6,42	6.95	7,49	4,37	4,65	5,03	5,39	5,69	5,99	4,01	4,38	4,73	5,09	5,43	5,76
11000	5,27	5,86	6,45	7,03	7,62	8,21	4,79	5,09	5,51	5,91	6,24	6,57	4,40	4,80	5,19	5,58	5,95	6,31
12000	5,73	6,38	7,02	7,65	8,29	8,93	5,21	5,54	5,99	6,43	6,78	7,14	4,78	5,23	5,64	6,07	6,47	6,87
14000	6,65	7,40	8,15	8·88	9,62	10,36	6,05	6,43	6,95	7,47	7,88	8,29	5,55	6,07	6,55	7,05	7,52	7,97
16000	7,58	8,43	9,28	10,11	10,96	11,80	6,89	7,32	7,92	8,50	8,97	9,44	6 32	6,91	7,46	8,03	8,56	9,08
18000	8,50	9,45	10,41	11,34	12,29	13,23	7,73	8,21	8,88	9,54	10,06	10,59	7,09	7,75	8,37	9,00	9,60	10,18
20000	9,42	10,48	11,53	12,58	13,62	14,67	8,57	9,11	9,85	10,57	11,15	11,74	7,86	8,58	9,28	9,98	10,65	11,29

Selbstverständlich werden sich diese Transportkosten wesentlich anders herausstellen bei einem schiffbaren Canale, bei welchem näher aneinander liegende Schleusenkammern eine wesentliche Verminderung oder umgekehrt weiter von einander entfernte Schleusenkammern eine wesentliche Vergrösserung der mittleren Fahrgeschwindigkeit herbeiführen oder wo auf Modificationen derselben ein kleinerer oder grösserer Zeitaufwand bei dem Passiren der Schleusenkammern Einfluss hat, wenn auch sonst alle übrigen Verhältnisse dieselben bleiben, wie sie für den hier behandelten speciellen Fall als maassgebend eingeführt worden sind.

K. Kosten des Transportes mittelst Lowry's und Locomotiven.

81. Die Verführung des zu bewegenden Materiales mittelst Lowry's und Locomotiven geschieht entweder auf bereits im Betriebe stehenden oder aber auf noch in der Ausführung begriffenen Eisenbahnen: ersteren Falles betragen die Kosten pr. Centner und Meile des zu verfrachtenden Materials, ausschliesslich die Kosten für das Auf- und Abladen desselben, welche einer abgesonderten Vergütung zu unterziehen sein werden, ohngefähr die Hälfte desjenigen Frachtensatzes, welcher für die niedrigste Waarenclasse festgesetzt ist, also selten mehr als 0,01 Gulden pr. Centner und Meile, soweit diessfällig der dermalen auf den meisten österreichischen Eisenbahnen für die niedrigste Waarenclasse bestehende Verfrachtungspreis von 0,02 Gulden maassgebend ist. Gegen Vergütung des erwähnten Betrages wird die Verführung des Materiales immer noch mit einem genügenden und von Fall zu Fall um so grösseren Nutzen effectuirbar sein, je grösser die Distanz ist, auf welche die Verfrachtung des Materiales vor sich zu gehen hat.

Anhaltspuncte für eine genauere Feststellung dieser Transportkosten werden sich aus dem ergeben, was zunächst über die Materialtransportkosten auf noch in der Ausführung stehenden Bahnstrecken gesagt werden wird.

Vorläufig an dem Gesagten festhaltend, werden sich die Materialtransportkosten per Cubicklafter und Meile bei einem 0,01 Gulden per Centner und Meile betragenden Verfrachtungspreise auf den im Betriebe stehenden österreichischen Eisenbahnen wie folgt herausstellen:

a) Wenn die Vergütung nach dem Cubicmaasse der Abträge bemessen wird:

bei dem Materiale I. Categ. auf 1,99 Gulden
„ „ „ II. „ „ 2,16 „
„ „ „ III. „ „ 2,38 „
„ „ „ IV. „ „ 2,59 „
„ „ „ V. „ „ 2,81 „
„ „ „ VI. „ „ 3,03 „

b) Wenn die Vergütung nach dem Cubicinhalte der Aufträge geleistet wird

bei dem	Materiale	I.	Categ.	auf	1,81	Gulden
„	„	II.	„	„	1,81	„
„	„	III.	„	„	2,05	„
„	„	IV.	„	„	2,18	„
„	„	V.	„	„	2,31	„
„	„	VI.	„	„	2,42	„

c) Wenn die Vergütung nach dem Cubicinhalte der Ablagerungen zu geschehen hat:

bei dem	Materiale	I.	Categ.	auf	1,66	Gulden
„	„	II.	„	„	1,77	„
„	„	III.	„	„	1.92	„
„	„	IV.	„	„	2.06	„
„	„	V.	„	„	2,20	„
„	„	VI.	„	„	2,30	„

82 Anderen Falles, wenn nämlich die Verführung des Materials auf einer noch im Bau stehenden Eisenbahn vor sich zu gehen hat, was meistentheils nur in dem letzten Stadium ihrer Herstellung mit dem zur Oberbaulegung erforderlichen Bettungsmateriale einzutreten pflegt, haben verschiedene Umstände auf eine namhafte Erhöhung im vorigen Artikel besprochenen Transportkosten Einfluss, und es ist aus diesem Grunde nothwendig, um allen diesen Umständen Rechnung zu tragen, diese Transportkosten nach denselben Grundsätzen zu ermitteln, wie dies bezüglich der übrigen bisher besprochenen Transportmittel geschehen ist, das heisst, es müssen auch diese Kosten von Fall zu Fall unter Benützung der allgemeinen Transportkostenformel in §. 32 festgestellt werden.

Zu diesem Ende sind wieder vorerst für jeden speciellen Fall die täglichen Zugsförderungskosten f auszumitteln: dieselben wechseln aber je nach der zu fördernden Last und der Steigung der Bahn, auf welcher der Transport zu geschehen hat, dann je nach der Entfernung, auf welche das Materiale zu verführen ist, will sagen je nach der Länge der Zeit, während welcher die Locomotive ununterbrochen Dampf zu erzeugen hat, innerhalb sehr weiter Grenzen, ganz abgesehen von andern je nach den localen Verhältnissen hierauf Einfluss nehmenden Grössen, als des zu verwendenden Heizungsmateriales, dessen Kosten, der obwaltenden oder nicht obwaltenden Nothwendigkeit der Herstellung von provisorischen Reparaturs-Werkstätten, von Wasserstationen u. d. m.

Nachdem es sich aber hier blos darum handelt, die Anwendung der allgemeinen Transportkostenformel auf einen speciellen Fall durchzuführen, um dadurch auf alle hiebei in Betracht kommenden Elemente aufmerksam gemacht zu werden, soll sofort zur Anwendung der fraglichen Transportkostenformel nur für den speciellen Fall geschritten werden, dass der Transport des Materials auf einer horizontalen oder nur wenig ansteigenden Bahn zu geschehen hat, dass die Beschränktheit des Raumes in den Materialgewinnungsplätzen nur die Verwendung von 15 Stück achträdrigen Lowry's mit einer Ladungsfähigkeit von je 200 Ctr. gestattet, dass ferner eine Klafter des als Heizungsmateriale zu verwendenden weichen dreischuhigen Brennholzes 15 t Gulden kostet, dass keinerlei provisorische Reparaturswerkstätten und Wasserstationen errichtet werden müssen u. d. m. und dass der Taglohn:

eines Maschinenführers . . . . m Gulden
„ Heizers . . . . h „
„ Conducteurs . . . . k „
„ Schmierers . . . . s „
und eines Handlangers . . . . t „

beträgt.

Ferner wird angenommen, dass die Schadloshaltung, welche für jeden Tag der Benützung zu leisten sein wird, sich belaufe:

für die Locomotive auf . . . . l Gulden
für jede einzelne Lowry . . . . w „

Dies zugegeben, ergeben sich als vorläufige tägliche Förderungskosten, nachdem hiezu 1 Locomotivführer, 2 Heizer, 1 Conducteur und 1 Schmierer erforderlich werden, mit

$$f = m + 2h + k + s + l + 15w \text{ Gulden.}$$

Nebst diesen Auslagen kommen jedoch noch zu berücksichtigen jene für die Aufstellung von Rampenwächtern, für die Arbeiten bei den Wasserpumpen und Verladen des Brennmaterials, dann die Auslagen für das Reinigen der Maschine, für das Schmier- und Heizmateriale, für das Stationiren der Locomotive, und endlich die Reparaturskosten für diese und für die Lowry's.

Allen diesen Auslagen wird dadurch genügend Rechnung getragen, dass die obigen Förderungskosten mit einem 100 percentigen Zuschlage, das heisst, dass $2f$ statt obigen f Gulden als die täglichen Zugsförderungskosten in die allgemeine Transportformel unter 32 eingeführt werden.

Auf den Handlangertaglohn reducirt kann

$$\begin{aligned} m &= 4\,t \text{ Gulden} \\ h &= 2\,t \text{ „} \\ k &= 2{,}5\,t \text{ „} \\ s &= 1{,}5\,t \text{ „} \\ l &= 45\,t \text{ „} \\ w &= 3\,t \text{ „} \end{aligned}$$

angenommen werden. Diese Werthe in die für f oben aufgestellte Gleichung eingeführt, und mit Berücksichtigung des nach dem Letztgesagten zu erfolgenden 100%tigen Zuchlages, verwandeln dieselbe in

$$f_1 = 2\,(12\,t + 45\,t + 45\,t) = 204\,t \text{ Gulden.}$$

Die täglichen Arbeitsstunden belaufen sich hiebei wie bei den durch Menschenkräfte allein zu bewegenden Transportmitteln auf $m = 10$ Stunden.

Bei der oben mit 200 Centner angenommenen Tragfähigkeit der Lowry's ergibt sich die Gesammtladungsfähigkeit der zu verwendenden 15 Lowry's in Cubicklaftern ausgedrückt wie folgt:

a) Wenn die Bemessung der zu leistenden Vergütung nach dem Cubicinhalte der Abtragsmassen zu erfolgen hat, für das Materiale:

I.	Categ. mit	$n =$ 15,4321	Cubic-Klafter
II.	„	$n =$ 13,8888	„
III.	„	$n =$ 12,6262	„
IV.	„	$n =$ 11,5741	„
V.	„	$n =$ 10,6838	„
VI.	„	$n =$ 9,9206	„

b) Wenn die Vergütung nach dem Cubicinhalte der Aufträge zu bemessen ist: bei dem Materiale

I. Categ.	$n = 16{,}9753$	Cubic-Klafter.
II. „	$n = 15{,}6943$	„
III. „	$n = 14{,}6464$	„
IV. „	$n = 13{,}7732$	„
V. „	$n = 13{,}0343$	„
VI. „	$n = 12{,}4008$	„

c) Wenn endlich die zu leistende Vergütung nach dem Cubicinhalte der Ablagerung bemessen wird: bei dem Materiale

I. Categ.	$n = 18{,}5185$	Cubic-Klafter.
II. „	$n = 16{,}9443$	„
III. „	$n = 15{,}6565$	„
IV. „	$n = 14{,}5834$	„
V. „	$n = 13{,}0753$	„
VI. „	$n = 12{,}8968$	„

Was den durch das Beladen und Entladen der Lowry's für die Bewegung des Zuges erwachsenden Zeitverlust anbelangt, so muss diessfällig bemerkt werden, dass bei kleinen Verführungsdistanzen, welche einen Lowry's-Wechsel nicht zulassen, das zu verladende Materiale in den Materialplätzen in der Art entlang der Geleise bevorräthiget werden muss, dass es in einer möglichst kurzen Zeit mittelst lediglichen Handwurfes auf die Lowry's verladen werden kann, und dass ebenso zum Abwerfen desselben mittelst Handwurf mindestens 6 Mann per Lowry angestellt werden, um das Entladen derselben möglichst zu beschleunigen. Bei solchen Maassnahmen kann der in Rede stehende Zeitverlust auf $v = 2{,}4$ Stunden veranschlagt werden.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Fahrten vorgenommen werden können, kann unter Berücksichtigung des unvollständigen Zustandes des Oberbaues, nicht füglich grösser als mit $c = 8000$ Klafter per Stunde in Rechnung gebracht werden.

83. Substituirt man diese speciellen Werthe statt der allgemeinen Grössen in die allgemeine Transportformel des 32. Artikels, so nimmt dieselbe nachfolgende Formen an:

Wenn die Vergütung nach dem Cubicmaasse der Abträge zu erfolgen hat, wird für das Materiale

I. Categ.	$k = (0{,}0003305\, w + 3{,}1726)\, t$	Gulden.
II. „	$k = (0{,}0003672\, w + 3{,}5251)\, t$	„
III. „	$k = (0{,}0004039\, w + 3{,}8777)\, t$	„
IV. „	$k = (0{,}0004406\, w + 4{,}2301)\, t$	„
V. „	$k = (0{,}0004773\, w + 4{,}5828)\, t$	„
VI. „	$k = (0{,}0005141\, w + 4{,}9352)\, t$	„

Wenn die Vergütung nach dem Cubicmaasse der Aufträge zu erfolgen hat, wird für das Materiale

I. Categ.	$k = (0{,}0003005\, w + 2{,}8842)\, t$	Gulden.
II. „	$k = (0{,}0003250\, w + 3{,}1195)\, t$	„
III. „	$k = (0{,}0003482\, w + 3{,}3428)\, t$	„
IV. „	$k = (0{,}0003703\, w + 3{,}5547)\, t$	„
V. „	$k = (0{,}0003912\, w + 3{,}7564)\, t$	„
VI. „	$k = (0{,}0004113\, w + 3{,}9482)\, t$	„

Wenn die Vergütung nach dem Cubicmaasse der Ablagerungen bemessen wird, wird für das Materiale

I. Categ.	$k = (0{,}0002754\, w + 2{,}6433)\, t$	Gulden.
II. „	$k = (0{,}0003010\, w + 2{,}8894)\, t$	„
III. „	$k = (0{,}0003257\, w + 3{,}1268)\, t$	„
IV. „	$k = (0{,}0003497\, w + 3{,}2572)\, t$	„
V. „	$k = (0{,}0003729\, w + 3{,}5797)\, t$	„
VI. „	$k = (0{,}0003955\, w + 3{,}7963)\, t$	„

Nach diesen Formeln ergibt sich für $t = 0{,}70$ Gulden nachfolgende Tabelle für die

Verführungskosten mittelst durch Locomotivkraft zu bewegender Lowry's, ohne Wagenwechsel.

Ver-führ.-Dist. Klftr.	Bei Abträgen						Bei Aufträgen						Bei Ablagerungen					
	Categorie																	
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
500	2,34	2,60	2,86	3,11	3,38	3,63	2,12	2,30	2,46	2,62	2,77	2,91	1,95	2,13	2,30	2,40	2,64	2,79
1000	2,45	2,72	3,00	3,27	3,54	3,81	2,23	2,41	2,58	2,75	2,90	3,05	2,04	2,23	2,42	2,52	2,77	2,93
1500	2,57	2,85	3,14	3,42	3,71	3,99	2,33	2,52	2,71	2,88	3,04	3,20	2,14	2,34	2,53	2,64	2,90	3,07
2000	2,68	2,98	3,28	3,58	3,88	4,17	2,44	2,64	2,83	3,01	3,18	3,34	2,24	2,44	2,64	2,77	3,03	3,21
2500	2,80	3,11	3,42	3,73	4,04	4,35	2,54	2,75	2,95	3,14	3,31	3,48	2,33	2,55	2,76	2,89	3,16	3,35
3000	2,91	3,24	3,56	3,89	4,21	4,53	2,65	2,87	3,07	3,27	3,45	3,63	2,43	2,65	2,87	3,01	3,29	3,49
3500	3,03	3,37	3,70	4,04	4,38	4,71	2,76	2,98	3,19	3,40	3,59	3,77	2,53	2,76	2,99	3,14	3,42	3,63
4000	3,15	3,50	3,85	4,19	4,54	4,89	2,86	3,09	3,31	3,53	3,72	3,92	2,62	2,87	3,10	3,26	3,55	3,76
4500	3,26	3,62	3,99	4,35	4,71	5,07	2,96	3,21	3,44	3,65	3,86	4,06	2,72	2,97	3,21	3,38	3,68	3,90
5000	3,38	3,75	4,13	4,50	4,88	5,25	3,07	3,32	3,56	3,78	4,00	4,20	2,81	3,07	3,33	3,50	3,81	4,04
5500	3,49	3,88	4,27	4,66	5,05	5,43	3,18	3,43	3,68	3,91	4,14	4,35	2,91	3,18	3,44	3,63	3,94	4,18
6000	3,61	4,01	4,41	4,81	5,21	5,61	3,28	3,55	3,80	4,04	4,27	4,49	3,01	3,29	3,56	3,75	4,07	4,32
6500	3,72	4,14	4,55	4,97	5,38	5,79	3,39	3,66	3,92	4,17	4,41	4,64	3,10	3,39	3,67	3,87	4,20	4,46
7000	3,84	4,27	4,69	5,12	5,55	5,97	3,49	3,78	4,05	4,30	4,55	4,78	3,20	3,50	3,78	3,99	4,33	4,60
7500	3,96	4,40	4,83	5,27	5,71	6,15	3,60	3,89	4,17	4,43	4,68	4,92	3,30	3,60	3,90	4,11	4,46	4,73
8000	4,07	4,52	4,98	5,43	5,88	6,33	3,70	4,00	4,29	4,56	4,82	5,07	3,39	3,71	4,01	4,24	4,59	4,87
9000	4,30	4,78	5,26	5,74	6,21	6,69	3,91	4,23	4,53	4,82	5,09	5,35	3,59	3,92	4,24	4,48	4,86	5,15
10000	4,53	5,04	5,54	6,05	6,55	7,05	4,12	4,46	4,78	5,08	5,37	5,64	3,78	4,13	4,47	4,73	5,12	5,43
11000	4,77	5,30	5,82	6,35	6,88	7,41	4,33	4,69	5,02	5,34	5,64	5,93	3,97	4,34	4,70	4,97	5,38	5,70
12000	5,00	5,55	6,11	6,66	7,22	7,77	4,54	4,91	5,26	5,60	5,92	6,22	4,16	4,55	4,92	5,22	5,64	5,98

(Schluss folgt.)

Untersuchungen über die günstigste Steigung für Gebirgsbahnen.

Von *Ferdinand Hoffmann*,
k. k. Eisenbahnbau-Inspector.

Bei der Tracirung von Gebirgsbahnen ereignet es sich nicht selten, dass die Ersteigung der gegebenen Höhe von einem gegebenen tiefer liegenden Puncte aus auf mehr als nur einem Wege erfolgen kann, so zwar, dass, je nach der Wahl des einen oder andern Weges, wesentliche Unterschiede sich ergeben, nicht nur in der Länge und Steigung der nach demselben anzulegenden Eisenbahn, sondern auch in den theils von der Länge der Bahn, theils von der Terrainformation abhängigen Baukosten.

Insofern nun von der Steigung und Länge der Bahn die Kosten des Betriebes, und von den Baukosten die durch den Bahnbetrieb zu erzielende Capitalsverzinsung abhängig ist, kann es natürlicher Weise nicht gleichgültig sein, welchen der verschiedenen Wege man für die zu erbauende Eisenbahn wählen soll, um mit den geringsten Betriebskosten die günstigste Bau- und Betriebs-Capitalsverzinsung zu ermöglichen.

Dies zugegeben, kann eine Untersuchung, welche es sich zur Aufgabe macht, unter Berücksichtigung der Betriebs- und Baukosten jene Bahnsteigung zu ermitteln, bei welcher mit den geringsten Betriebskosten die beabsichtete Capitals-Verzinsung erreicht werden kann, wohl nur von allgemeinem Interesse sein; die Ermittlung dieser Steigung ist es, welche sonach den Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen und analytischen Deductionen bildet.

Um in der fraglichen Richtung zu einem Resultate zu gelangen, gehe ich von der Ansicht aus, dass die Leistungsfähigkeit der Maschinen, mit welchen die anzulegende Gebirgsbahn befahren werden soll, entweder auf horizontaler oder auf einer wie immer ansteigenden Bahn und in beiden Fällen beim Durchlaufen entweder ganz gerader oder von Bahnen mit Krümmungen von gegebenen Krümmungshalbmessern, entweder aus Versuchen oder theoretischen, auf ihre Construction basirenden Berechnungen bekannt ist, und zwar ist es für die vorliegende Aufgabe von Wichtigkeit zu wissen, bei welcher Geschwindigkeit der Locomotive ihre Dampfentwickelungsfähigkeit am grössten ist, und welche Bruttolast dieselbe bei Einhaltung dieser Geschwindigkeit auf einer Bahn von beliebiger Steigung und beim Durchlaufen ihrer geraden oder in Bögen liegenden Theile fortzuziehen vermag. Dieser Anforderung zu entsprechen, unterliegt von Fall zu Fall keinerlei erheblichen Schwierigkeiten.

Ich will demnach mit G jenes Bruttogewicht bezeichnen, welches eine Locomotive, deren Eigengewicht sammt Tender $= M$ ist, mit einer Geschwindigkeit von c Meilen pro Stunde, auf einer Bahn fortzuziehen vermag, deren Steigung auf die Länge e der Einheit der Länge gleich ist, und auf welcher die Locomotive Bögen von R Klafter Halbmesser zu durchlaufen hat. Dabei bezeichne c zugleich diejenige Geschwindigkeit, bei welcher die Dampfentwickelungsfähigkeit der Locomotive am grössten ist.

Um sofort zu einem Ausdrucke zu gelangen, welcher die Leistung der Locomotive für die erwähnten Verhältnisse darstellt, will ich, wie dies auf Grundlage vorgenommener Versuche nahezu allgemein geschieht, annehmen, dass der Reibungs- und Wälzungswiderstand, welcher aus dem Gewichte der fortzuschaffenden Bruttolast erwächst, den 280ten Theil dieses Gewichtes betrage. Bei einer solchen Annahme erhält man für diesen Reibungs- und Wälzungswiderstand, wenn man ihn mit W' bezeichnet, den Ausdruck

$$W' = \frac{G}{280}.$$

Der zunächst in Frage kommende Widerstand ist jener, welcher überwunden werden muss, um die Locomotive selbst auf horizontaler Bahn mit einer Geschwindigkeit c in Bewegung zu erhalten. Diese Geschwindigkeit hat nämlich keinerlei Einfluss auf den Reibungs- und Wälzungswiderstand der den Train bildenden Waggons, wohl aber auf den Bewegungswiderstand der Locomotive, da bei letzterer zu dem Reibungs- und Wälzungswiderstande der Räder die mit der Bewegung der Maschine verbundenen Bewegungswiderstände der Maschinen- oder Locomotivbestandtheile hinzukommen. Allem diesem wird unter Hinblick auf die diesfällig abgeführten Versuche mit genügender Richtigkeit Rechnung getragen, wenn man die durch W'' zu bezeichnenden Bewegungswiderstände der Locomotive ausdrückt durch die Gleichung

$$W'' = \frac{(5 + c)\, M}{1200}.$$

Man erhält hiernach für

$$\begin{array}{lcccccccccc} c = & 1. & 2. & 3. & 4. & 5. & 6. & 7. & 8. & 9. & 10. \\ W'' = & \frac{M}{200}, & \frac{M}{171}, & \frac{M}{150}, & \frac{M}{133}, & \frac{M}{120}, & \frac{M}{109}, & \frac{M}{100}, & \frac{M}{92}, & \frac{M}{86}, & \frac{M}{80}. \end{array}$$

Es wachsen nämlich diese Bewegungswiderstände mit der Geschwindigkeit der Bewegung, und sie sind nach vorliegendem Ausdrucke bei einer Geschwindigkeit von 10 Meilen nahezu doppelt so gross als bei einer Geschwindigkeit von 2 Meilen.

Bei der Aufstellung der Werthe für W' und W'' ist von dem Einflusse der Bahnkrümmungen auf die Bewegungswiderstände des Trains und der Locomotive ganz abgesehen worden: letztere vermehren diese Widerstände in nicht unbeträchtlichem Grade, wenn die Krümmungshalbmesser weniger als 1000 Klafter betragen; dem in Rede stehenden Einflusse wird nach den hierüber vorliegenden theoretischen Untersuchungen und practischen Kraftbemessungen genügend Rechnung getragen, wenn man die Summe der Widerstände W' und W'' mit dem Coefficienten

$$\frac{37{,}5 + R}{R}$$

multiplicirt, so dass der aus dem Bewegungswiderstande des Trains und der Locomotive auf einer horizontalen Bahn, bei welcher Krümmungen von R Klafter Radius durchlaufen werden müssen, resultirende Gesammtbewegungswiderstand W ausgedrückt werden kann durch

$$W = \left(\frac{G}{280} + \frac{(5 + c)\, M}{1200}\right)\left(\frac{37{,}5 + R}{R}\right);$$

nach dieser Formel sind die Widerstände, welche auf einer Bahn mit Bögen von 100 Klafter Halbmesser zu überwinden sind, ungefähr um den dritten Theil grösser als die gleichnamigen Widerstände auf geraden horizontalen Bahnen.

Steigt die Bahn auf die Länge von e Klaftern um eine

Klafter, so hat die Locomotive nebstdem, dass sie die bisher beobachteten Widerstände zu bewältigen hat, auch noch den e^{ten} Theil des Trains- und Locomotivgewichtes bergan zu fördern; es ist also, wenn dieser Widerstand mit W''' bezeichnet wird,

$$W''' = \frac{G+M}{e}.$$

Endlich ist durch die Kraft der Maschine zu überwinden der aus dem zu erfolgenden Durchschneiden der Luft bei der Bewegung der Züge erwachsende Bewegungswiderstand; derselbe hängt ab von dem Stosse, welchen die Stirnseite der Locomotive gegen die ruhig stehende Luft ausübt, und jenem Stosse, welcher in gleicher Weise in vermindertem Grade durch die übrigen Trainstheile gegen die Luft ausgeübt wird, dann von dem hiebei zu überwindenden Reibungswiderstande der Luft an den Längenseiten des Trains. Besteht der Train aus Waggons, welche bei 100 Centner Eigengewicht eine Ladungsfähigkeit von 200 Centner besitzen, so wird der in Frage stehende Widerstand der Luft, wenn er mit W'''' bezeichnet wird, bei dem Umstande, dass die Stossfläche der Locomotive auf 70 Quadratfuss, die jedes einzelnen Waggons auf 10 Quadratfuss veranschlagt werden kann, wenn G das Bruttogewicht des Trains darstellt, zureichend genau mit

$$W'''' = 0{,}0005432\left(70+\frac{G}{30}\right)c^2 \text{ Centner}$$

ausgedrückt, wenn c die Geschwindigkeit der Bewegung des Zuges bezeichnet; es steigen nämlich diese Widerstände wie die Quadrate der erwähnten Geschwindigkeiten; der in dieser Formel enthaltene Coefficent ist nach den in Pambour's Theorie der Dampfmaschinen enthaltenen Angaben über diesen Gegenstand für Wiener Maass und Gewicht abgeleitet worden.

Bei einer Geschwindigkeit von c Meilen per Stunde beläuft sich demnach das mechanische Moment der Leistung der Maschine oder Locomotive, wenn es mit M' bezeichnet wird, auf

$$M' = \left[\left(\frac{G}{280}+\frac{(5+c)M}{1200}\right)\left(\frac{37{,}5+R}{R}\right)+\left(\frac{G+M}{e}\right)+ + 0{,}0005432\left(70+\frac{G}{30}\right)c^2\right]c$$

Wäre beispielsweise eine neu zu erbauende Bahn mit Locomotiven zu befahren, welche bei 3 Meilen Geschwindigkeit die grösste Dampfentwicklungsfähigkeit besitzen, und die bei dieser Geschwindigkeit $G = 22000$ Centner bei einem Eigengewicht von $M = 1000$ Centnern, auf gerader horizontaler Bahn fortbewegten, so beziffert sich die Leistungsfähigkeit dieser Locomotiven nach vorliegender Formel, indem man darin R und $e = \infty$ setzt, mit $M' = 264{,}8$ Meilen-Centnern, d. h. sie vermag bei einer Geschwindigkeit von 3 Meilen, wo ihre Dampfentwicklungsfähigkeit am grössten ist, 88,25 Centner an Zugkraft zu entwickeln.

Wird die Geschwindigkeit der Locomotive geändert, also entweder kleiner oder grösser als 3 Meilen, so nimmt ihre Leistungsfähigkeit wegen der abnehmenden Dampfentwicklungsfähigkeit ab; nach den von Pambour hierüber mit der Locomotive Atlas abgeführten Versuchen wird der mit der Geschwindigkeitsänderung abnehmenden Dampfentwicklungsfähigkeit Rechnung getragen werden können, wenn man dieselbe nach der letztlich aufgestellten Formel berechnet, das Resultat aber mit dem Coefficienten

$$\left(\frac{3 \mp 0{,}3\,(c'-3)}{3}\right),$$

oder allgemein mit dem Coefficienten

$$\frac{c \mp 0{,}3\,(c'-c)}{c}$$

multiplicirt, in welchem c diejenige Geschwindigkeit bezeichnet, bei welcher die Dampfentwicklungsfähigkeit am grössten ist, während c' entweder kleiner oder grösser als c ist; das obere der beiden in diesem Coefficienten vorkommende Zeichen $\mp$ ist im ersteren Falle, das untere im letzteren Falle gültig.

Nimmt also beispielsweise die Geschwindigkeit, indem sie in c' übergeht, ab oder zu, so erhält man das Gewicht G', welches die Locomotive, deren Leistungsfähigkeit auf gerader horizontaler Bahn mit $M' = 264{,}8$ Meilen-Centner gefunden worden ist, auf gerader horizontaler Bahn fortzuziehen im Stande sein wird, aus der Gleichung:

$$264{,}8 = \left[\frac{G'}{280}+\frac{(5+c')\,1000}{1200}+0{,}0005432\left(70+\frac{G'}{30}\right)c'^2\right]c'\left(\frac{3 \mp 0{,}3\,(c'-3)}{3}\right).$$

Es muss nämlich ihre in einem solchen Falle eintretende Leistung mit dem letzterwähnten Verdampfungs-Coefficienten multiplicirt werden, um jener Leistung gleich zu kommen, welche bei einem mit drei Meilen Geschwindigkeit verkehrenden Train Platz greift

Es wird aber aus der letzten Gleichung

$$G' = \frac{667296 - (3500+700\,c'+29{,}4\,c'^2)\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'}{c'\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,(3+0{,}014\,c'^2)}$$

gefunden; setzt man in dieser Gleichung nacheinander $c' = 1$ 2, 3, 4, 5, 6, 7, so findet man für

c' =	1	2	3	4	5	6	7
G' =	60099	31442	22000	14591	8746	5640	3553
M' =	60099	62884	66000	58364	42730	33840	24871

Mit Absehung von der mit der Aenderung der Geschwindigkeit sich ändernden Dampferzeugungsfähigkeit würden sich die für G' und M' berechneten Werthe bedingen durch die Gleichung

$$264{,}8 = \left[\frac{G'}{280}+\frac{(5+c')\,1000}{1200}+0{,}0005\left(70+\frac{G'}{30}\right)c'^2\right]c',$$

aus welcher

$$G' = \frac{222432-(3500+700\,c'+29{,}4\,c'^2)\,c'}{3+0{,}014\,c'^2}$$

gefunden wird.

Nach derselben erhält man für

c' =	1	2	3	4	5	6	7
G' =	72396	34758	22000	15140	10970	8109	5951
M' =	72396	69502	66000	60560	54850	48654	41657

Aus den vorliegenden Resultaten ist abzunehmen, dass die für G' aufgestellten beiden Gleichungen ein Mittel an die Hand geben, die Richtigkeit des in der ersten derselben enthaltenen Verdampfungs-Coefficienten zu prüfen, und denselben durch Versuche zu rectificiren, indem man dem in dem zweiten Theile des Zählers nach dem Zeichen $\mp$ enthaltenen numerischen Coefficienten 0,3 einen solchen Werth gibt, dass das unter Einführung desselben sich ergebende G' jenen Werth annimmt, welcher hiefür durch die vorgenommenen Versuchsfahrten gefunden wird.

Es ist wohl auch nicht ohne Interesse, jene Geschwindigkeit zu ermitteln, bei welcher die Locomotive nur mehr sich selbst fortzubringen vermag; dieselbe wird dadurch gefunden, dass man den Zähler der für G' abgeleiteten Gleichungen = Null setzt, und aus den so gebildeten Gleichungen den Werth von c' bestimmt.

Man erhält auf diese Weise bei Berücksichtung der mit der Geschwindigkeit sich ändernden Verdampfungsfähigkeit die Gleichung

$$667296-(3500+700\,c'+29{,}4\,c'^2)[3 \mp 0{,}3(c'-3)]\,c'=0.$$

woraus $c'=9{,}8$ Meilen gefunden wird.

Bei Absehung von der Veränderlichkeit der Dampferzeugungsfähigkeit der Locomotive ergibt sich aus der Gleichung

$$222432-(3500+700\,c'+29{,}4\,c'^2)\,c'=0$$

mit $c'=13{,}2$ Meilen diejenige Geschwindigkeit, bei welcher auf gerader horizontaler Bahn die Locomotive nur mehr sich selbst sammt dem Tender fortzubringen vermögen soll; andere Resultate als die vorliegenden, durch Versuche sich ergebend, geben abermals ein Mittel an die Hand, die Coefficienten in den vorliegenden Gleichungen einer Berichtigung zuzuführen; insbesondere wäre, wenn sich c' hiebei grösser als nach den vorliegenden Gleichungen ergeben sollte, dies ein Fingerzeig, dass die Widerstands-Coefficienten zu gross angenommen wurden, und man wird diese in dem Maasse mehr zu berichtigen vermögen, je mehr verschiedene Versuche über die Leistungsfähigkeit einer und derselben Locomotive bei verschiedenen Geschwindigkeiten vorliegen, indem man in dem Falle, als man eben so viele Versuchsresultate vorliegen hat, als Widerstands-Coefficienten in den Gleichungen enthalten sind, die letzteren als unbekannte Grössen behandeln, und aus den unter Benützung der Versuchsresultate zu bildenden Gleichungen zu ermitteln im Stande sein wird.

Vorläufig will ich, da mir genügende Anhaltspuncte abgehen, um eine wesentliche Modification in den bisher eingeführten Widerstands-Coefficienten vorzunehmen, dieselben als der Wahrheit möglichst naheliegend ansehen, und sofort dem eigentlichen Zwecke der vorliegenden Untersuchungen und Betrachtungen wieder mich zuwenden.

Soll die Locomotive, von welcher bisher die Rede war, die maassgebende sein für den Betrieb auf einer neu herzustellenden Gebirgsbahn, welche auf die Länge von e' Klaftern um Eine Klafter ansteigt, auf welcher Bögen von R' Klafter Halbmesser zu durchlaufen sind, und wo nicht blos mit der der Dampferzeugung günstigsten Geschwindigkeit von $c=3$ Meilen, sondern je nach Umständen auch mit einer kleineren oder grösseren Geschwindigkeit c' gefahren werden wird, so ergibt sich als Leistung der Maschine bei Einhaltung der Geschwindigkeit c' und in der Voraussetzung, dass G' das grösste Bruttogewicht ist, welches sie bei dieser Geschwindigkeit bergan zu fördern mag, der Ausdruck:

$$M''=\left[\left(\frac{G'}{280}+\frac{(5+c')\,M}{1200}\right)\left(\frac{37{,}5+R'}{R'}\right)+\left(\frac{G'+M}{e'}\right)+0{,}0005\left(70+\frac{G'}{30}\right)c'^2\right]c'.$$

Diese Leistung ist auch dann über die Dampferzeugungsfähigkeit, welche bei drei Meilen Geschwindigkeit am grössten sein soll, kleiner als die grösste Leistungsfähigkeit der Maschine, welch' letztere auf 264,8 Meilen-Centner sich belaufend ermittelt worden ist.

Wird jedoch die Leistung M'' mit dem Dampferzeugungscoefficienten

$$\frac{c \mp 0{,}3\,(c'-c)}{c}$$

multiplicirt, so muss

$$M''\left(\frac{c \mp 0{,}3\,(c'-c)}{c}\right)=264{,}8$$

werden; es ist sonach:

$$\left[\left(\frac{G'}{280}+\frac{(5+c')\,M}{1200}\right)\left(\frac{37{,}5+R'}{R'}\right)+\left(\frac{G'+M}{e'}\right)+0{,}0005\left(70+\frac{G'}{30}\right)c'^2\right]\frac{c'\,[c \mp 0{,}3\,(c'-c)]}{c}=264{,}8$$

jene Gleichung, welche den Werth von G' bedingt, sobald nebst M und C auch e' und c' gegeben sind.

Setzt man in derselben $M=1000$ Centner, $R'=100$ Klafter, $c=3$ Meilen, während man e' und c' vor der Hand unbestimmt lässt, so findet man aus dieser Gleichung

$$G'=\frac{1334629\,e'-[1925\,(5+c')\,e'+63{,}88\,c'^2\,e+1680000]\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'}{(8{,}25\,e'+1680+0{,}0304\,c'^2\,e')\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'} \quad \ldots \text{(I)}$$

Wäre $c'=c=3$ Meilen, d. h. findet der Transport der Bruttolast G' mit der der Dampferzeugung günstigsten Geschwindigkeit statt, so geht die vorliegende Gleichung über in

$$G'=\frac{15530\,e'-197{,}183}{e'+197}\ \text{Centner} \quad \ldots \text{(II)}$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich, dass die Locomotive nur mehr sich selbst mit drei Meilen Geschwindigkeit fortzubringen vermag, sobald $15530\,e'-197{,}183=$ Null, d. h. sobald $e'=12.7$ wird, also dieselbe nicht nur Krümmungen von 100 Klafter Halbmesser durchlaufen, sondern auch auf einer mit 1 : 12,7 ansteigenden Bahn bergan gehen soll.

Für die Berechnung derjenigen Steigung, bei welcher die in Rede stehende Locomotive eine Bruttolast von G' bergan soll ziehen können, ergibt sich aus I die Gleichung

$$e'=\frac{(1680\,G'+1680000)\,[3 \mp 0.3\,(c'-3)]\,c'}{1334629-[(8{,}25+0{,}0304\,c'^2)\,G'+1925\,(5+c')+63{,}88\,c'^2)\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'} \quad \ldots \text{(III)}$$

Wäre $G'=0$, so könnte

$$e'=\frac{1680000\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'}{1334629-[1925\,(5+c')+63{,}88\,c'^2]\,[3 \mp 0{,}3\,(c'-3)]\,c'} \quad \ldots \text{(IV)}$$

gemacht werden; demnach würde die Maschine auf der in Frage stehenden Bahn sich selbst auf jenen Steigungen noch bergan zu fördern vermögen, welche durch vorliegende Gleichung für verschiedene Werthe von c' bedingt werden; es ergibt sich hiernach für

$c' =$ 1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
$e' =$ 4,7	8,9	12,7	20,2	31,5	50,3	75,6	211,1

Für den Zweck der vorliegenden Abhandlung, d. i. für die Ausmittelung der günstigsten Steigung für Gebirgsbahnen ist von den vorliegenden vier letzten Gleichungen blos die Gleichung I von Wichtigkeit, durch welche die Bruttolast G' bedingt wird, welche die in Rede stehenden Locomotiven auf einer mit $1 : e'$ austeigenden Bahn beim gleichzeitigen Durchlaufen der Bögen von 100 Klafter Halbmesser mit c' Meilen Geschwindigkeit bergan zu fördern vermögen, und welche in die Gleichung II übergeht, wenn der Verkehr auf dieser Bahn, wie anzunehmen, in der Regel mit der der Dampferzeugung günstigsten Geschwindigkeit von drei Meilen per Stunde vor sich gehen soll.

Bei der angegebenen Steigung wird, wenn h die zu ersteigende Höhe in Meilen bezeichnet, die zugehörige Weglänge vom tiefsten Puncte der Bahn bis zum höchsten $e'h$ Meilen betragen: wären nunmehr auch die per Meile entfallenden Gesammttransportkosten bekannt, so unterläge es keiner Schwierigkeit mehr, den auf jeden Centner der Nettolast entfallenden Antheil dieser Kosten auszumitteln; man hätte zu diesem Ende blos — wenn f diese Gesammttransportkosten per Meile bezeichnet — das Product $e'hf$ durch die bei der Bruttolast G' transportable Nettolast zu dividiren.

Die erwähnten Gesammttransportkosten bestehen aus den Kosten der Central-Administration, jenen des Betriebes, der Materialconsumtion, der Zugsförderung, der Reparaturskosten der Fahrbetriebsmittel, der Kosten der Erhaltung des Unterbaues, des Oberbaues und des Hochbaues u. a. m.

Obschon an und für sich veränderlich lassen sich dieselben von Fall zu Fall immerhin mit einiger Genauigkeit vorhinein bestimmen, so zwar, dass sich auf das Resultat einer solchen Bestimmung hin auch ein Schluss auf die künftige Rentabilität der Bahn wird ziehen lassen.

Für die Beantwortung der vorliegenden Frage über das günstigste Steigungsverhältniss der zu erbauenden Bahn ist lediglich jene Veränderlichkeit der in Rede stehenden Transportkosten in Betrachtung zu ziehen, welche abhängig ist von der kleineren oder grösseren Steigung, welche der Bahn gegeben werden soll: auf ein Wachsen dieser Transportkosten mit der wachsenden Steigung hat insbesondere der Umstand Einfluss, dass bei grösseren Steigungen eine grössere Abnützung des Oberbaues, wegen der in solchen Fällen vielfältig gehemmten freien Aussicht die Aufstellung einer grösseren Anzahl von Bahnwächtern und ähnliche den Betrieb vertheuernde Massnahmen unvermeidlich werden.

Insoferne also die in Frage stehenden Kosten eine Function der Bahnsteigung sind, können dieselben ausgedrückt werden durch

$$f = \frac{ne' + x}{e'},$$

worin n und x durch den Hinblick auf die obwaltenden Verhältnisse bestimmbare Zahlen bezeichnen. Es ist zu diesem Ende blos erforderlich, die fraglichen Kosten für zweierlei möglichst stark von einander verschiedenen Steigungen mit Rücksichtnahme auf die obwaltenden Verhältnisse zu ermitteln; substituirt man die so ermittelten Kosten und die zugehörigen Steigungswerthe in die vorliegende Gleichung, so erhält man zwei Gleichungen, aus welchen sich die beiden unbekannten Grössen n und x für andere Steigungen immerhin mit jener Genauigkeit bestimmen lassen, welche für die Beantwortung der Frage, welches die für die zu erbauende Bahn günstigste Steigung werden dürfte, nothwendig ist.

(Schluss folgt.)

Vorrichtung zur Erleichterung der Schwimmfähigkeit, oder zum Lichten von Schiffen und zur Verminderung des specifischen Gewichtes der im Wasser eingetauchten Gegenstände.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 21.)

Die auf Blatt Nr. 21 beschriebene Vorrichtung ist von Herrn John Davies in Manchester erfunden worden und ist nicht nur für See- und Flussschiffe, deren Schwimmfähigkeit auf eine künstliche Weise vermehrt und deren Tiefgang vermindert werden soll, sondern auch zum Heben von Schiffen oder anderen schweren Körpern, und endlich zum Tragen oder Halten von grossen Gewichten oder andern schweren Gegenständen anwendbar. Sie beruht auf der Anwendung oder dem Gebrauch der condensirten oder nicht condensirten atmosphärischen Luft, die in geeignete Behälter aufgenommen wird.

In Fig. 1—13 ist der Apparat in seinen verschiedenen Formen dargestellt, wie er für Schiffe beschaffen sein muss, deren Tiefgang vermindert und wodurch es ihnen möglich gemacht werden soll, über seichte Stellen in Flüssen, Hafenmündungen u. s. w. fahren zu können. Der Apparat wird an der Aussenseite der Schiffe angebracht und besteht aus einem Behälter, Fig. 1, welcher die condensirte Luft aufnehmen und in sich erhalten kann und daher aus einem biegsamen Stoffe, z. B. Kautschukgewebe, Wachsleinwand, gummirter Seide etc. angefertigt sein muss. Fig. 2 ist der Ueberzug des Luftrecipienten, der aus starker Leinwand oder im Nothfall aus Metall oder Holz bestehen kann. In Fig 3 ist das Ganze in einem Netzwerk aus Seilen, Ketten oder metallenen Tauen dargestellt. Der Erfinder gibt jenen Recipienten den Vorzug, die aus einem Gewebe von Kautschuk hergestellt sind, weil dieses die condensirte Luft besser erhält und weil es zugleich elastisch und widerstandsfähig ist; man kann diese Widerstandsfähigkeit noch dadurch vermehren, dass man mehrere Gewebe durch Kautschuk oder andere solide Bindemittel zu einem einzigen Körper verbindet. Zum Ueberzug des Luftrecipienten soll man vorzugsweise Kanevas oder grobe geölte oder nicht geölte Leinwand und für das Netz am besten Stricke nehmen, welche vortheilhafter sind als Ketten, da diese leicht rosten und auch die Planken der

Schiffe, so wie die übrigen Theile des Apparates leicht beschädigen.

Die Form des Luftbehälters kann verschiedenartig, rund, cylindrisch, dreieckig u. s. w. sein; jedenfalls aber ist die sphärische wegen ihrer grossen Kraft, ihrer Capacität und der damit verbundenen Oeconomie die zweckmässigste. Fig. 1 ist ein sphärischer Luftbehälter von Kautschukgewebe mit reihenweise angeordneten kleinen Ringen; *a* sind Oeffnungen für die metallenen Verbindungsstücke, durch welche der Luftrecipient mit der Röhre in Verbindung gesetzt wird, mittelst welcher man die Luft einführt. Der in Fig. 2 dargestellte Ueberzug des Luftrecipienten ist mit Löchern durchbrochen, welche mit den Ringelchen der Fig. 1 correspondiren und nebenbei den Zweck haben, dem Wasser Abzug zu verschaffen. Bei *bb* ist derselbe in zwei Theile getheilt, welche durch Schlingen miteinander verbunden sind; bei *cc'* ist der Ueberzug offen, wenn man die Schlingen löst, und es wird durch diese Oeffnungen der Luftrecipient eingeschoben; die Oeffnungen *d* correspondiren mit denen bei *a* in Fig. 1 für die Verbindungsstücke Das Seilnetz in Fig. 3 besteht aus einer Anzahl von Stricken, deren Stärke mit dem zu tragenden Gewicht im Verhältniss stehen muss; sie sind so ineinander verflochten, dass sie einen zweiten Ueberzug des Luftbehälters bilden, wenn dieser gefüllt ist. Das Netz bildet eine Kuppel und die Stricke sind an den Kreuzungspuncten miteinander verbunden; an dem untern Theile sind zwischen *e* und *f* andere Stricke so befestigt, dass einer der letztern immer mit einem der erstern zusammenfällt, auf welche Art der Druck einer durch den Apparat gehobenen Last so viel als möglich auf die ganze Oberfläche der Kugel vertheilt wird, indem diese Nebenstricke mit ähnlichen Stricken verbunden werden, die an einem zweiten Recipienten angebracht sind und die Zusammenfügung dieser Stricke eine Art von Wiege bildet, in welcher das Schiff zwischen den beiden Luftrecipienten ruht.

Die letztern werden mit dem Seilnetz durch bie Ringelchen verbunden; *g* sind die Seile, durch welche der Apparat auf dem Verdek auf eine solide Art an die Schiffshölzer befestigt wird.

Um den Luftrecipienten aufs beste zu beschützen, muss der Inhalt des Ueberzuges etwas geringer sein als der des Recipienten, und die Capacität des Netzes muss ebenfalls etwas kleiner sein, als die des Ueberzugs. Diese Vorsichtsmassregel ist nothwendig, damit der Luftrecipient, so leicht auch seine Structur sein möge, nicht platzen kann, wenn er gefüllt ist, oder wenn der äussere Druck auf ihn wirkt.

Die Stärke eines jeden Seiles muss nach dem Gewicht bemessen werden, welches von allen verbundenen Seilen gehoben oder getragen werden soll, wobei man aber die Erleichterung zu berüksichtigen hat, welche die Seile durch die Reibung an jenen Stellen erfahren, wo sie anliegen, nämlich unter dem Kiel und längs der Flanken des Schiffes.

Fig. 4 stellt die Hälfte von zwei Luftbehältern nebst dem Seilwerk dar, durch das sie verbunden sind; *h* sind diejenigen Theile, bei denen diese Verbindung stattfindet, welche durch eiserne Haken oder Ringe bewirkt werden kann; *i* ist das Rohr zur Einführung der Luft und besteht aus demselben Stoffe als die Luftbehälter; es ist mit einem Ueberzug von Kanevas oder grober Leinwand versehen, worüber schneckenförmig ein Strick gewunden wird, um das Rohr gegen jeden Unfall zu verwahren und um es zu verhindern, dass es zu sehr gedreht werde, wodurch der Luft der Durchgang verschlossen würde. Um in dieser Beziehung vollständig gesichert zu sein, läuft im Innern des Rohres der ganzen Länge nach ein Strick hin, der an jedem Ende desselben befestigt ist. Dieses Rohr kann mit den Luftrecipienten durch das eine oder andere Verbindungsstück, oder aber ein Rohr kann durch jedes der Verbindungsstücke verbunden werden; das andere Ende des Rohres oder der Röhre steht zugleich mit der Form eines Gebläses oder einer Luftpumpe in Verbindung, welche auf dem Verdeck des Schiffes ihren Platz hat, oder aber es kann auch jeder Recipient nach und nach und vermittelst seines Rohres mit dem Gebläse oder der Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden.

Das zweite Verbindungsstück in dem Luftrecipienten dient zur Einführung eines zweiten Rohres zum schnellern Füllen und Leeren des Apparates; auch kann es als Sicherheitsventil dienen, um den Druck der Luft im Recipienten anzuzeigen.

Fig. 5 ist eine andere Modification des Recipienten aus gewebtem Stoff oder Kautschuk mit einem Mantel aus Canevas, der mit Leim von Kautschuk daran befestigt ist, so dass ein Ganzes gebildet wird; an diesen Canevas sind Streifen geleimt, worauf Ringe genäht sind, noch kleiner als die in Fig. 1 dargestellten, welche den Zweck haben, die Befestigungsstricke durchgehen zu lassen und sie an ihrem Platz zu erhalten. Wenn diese Stricke so disponirt sind, so können sie in dieser Lage verbleiben, und der Apparat besteht dann anstatt aus drei Theilen nur aus einem einzigen Theil. Das Seilnetz, welches bei diesem Umstande eine geringere Capacität hat als der Luftrecipient, muss zuerst der ganzen Wirkung widerstehen; oder aber die den Recipienten umgebenden Seile können durch starke Canevasstreifen ersetzt werden, und an den Verbindungspuncten am untern Theil der Kugel können ihre Enden herabhängen und der Art verstärkt sein, dass die Befestigungsstricke daran befestigt werden können; die Dimensionen des Apparates werden dadurch viel geringer.

In Fig. 6 sehen wir eine andere Disposition des Seilnetzes; alle Seile umgeben die ganze Kugel und kreuzen sich schief, so dass sie mehrere Zusammenströmungen oder Pole bilden. Nun befestigt man an diese Stellen Taue oder Ketten *k*, die man dann unter den Kiel durch und an den Flanken des Schiffes hingehen lässt, und sie auf dem Verdeck sorgfältig verankert; der Druck von jedem dieser Taue oder Ketten wird gleichmässig auf die ganze Oberfläche des Luftrecipienten vertheilt; ausserdem kann man die Kraft vermehren, indem man die Zahl der Stricke vermindert, die den Luftrecipienten umgeben, oder die an den Apparaten befestigt sind.

Fig. 7 sind zwei cylindrische Recipienten mit Tauen oder Ketten, die sie bei *l* miteinander verbinden, und unter dem Schiffskiel durchgehen, so dass an jeder Flanke des Fahrzeugs sich ein Recipient befindet; *g* sind die Seile zur Befestigung des Apparates auf dem Verdeck; *i* ist das Rohr zum Aufblähen des Apparats. Das Netz kann so eingerichtet sein, wie es in einer der vorstehenden Figuren dargestellt ist. Die cylindrische Form hat den Vortheil, dass sie beiläufig drei Viertheile der Schiffslänge einnimmt und der Druck auf die Flanken vertheilt wird; dagegen wird dieser Vortheil durch die grösseren Kosten aufgewogen; die Kugelform bietet immer die grösste Capacität und ist folglich die weniger kostende, was von grosser Wichtigkeit ist, wenn es sich um eine grosse Fläche des Stoffes handelt.

Fig. 8 ist die Seitenansicht eines Schiffes mit drei Paar Luftrecipienten, die denen in Fig. 4 ähnlich sind; *a* ist der Wasserspiegel, *b* sind die Luftbehälter, welche paarweise durch die Stricknetze *c* miteinander verbunden sind; *d* sind die Seile zu ihrer Befestigung an das Verdeck, *e* Röhren oder Schläuche, die mit der Luftpumpe oder dem Gebläse am Bord des Schiffes in Verbindung stehen.

Stellt man sich nun vor, dass der Tiefgang des Schiffes $4^{m}80$ beträgt und dass die Luftrecipienten einen Durchmesser von $4^{m}20$ haben, so wird jeder aufgeblasene und eingetauchte Recipient beiläufig 40000 Kilogr. Wasser, folglich alle sechs 240000 Kilogr. verdrängen, und da sie mit dem Schiffe durch den aufsteigenden Druck innig verbunden sind, so vermindern sie das Gewicht des Schiffes um eine beinahe gleiche Grösse und folglich auch den Tiefgang desselben in gleichem Verhältnisse.

Fig. 9 ist ein Theil eines Schiffes mit zwei, jenen in Fig. 6 ähnlichen Luftrecipienten. Wenn man den Tiefgang des Schiffes mit $6^{m}60$, die Wasserstandslinie bei *aa* und den Durchmesser jedes aufgeblasenen und eingetauchten Recipienten mit $6^{m}0$ annimmt, so verdrängen sie beiläufig 250000 Kilogr. Wasser und in demselben Verhältniss lichten sie das Schiff und vermindern seinen Tiefgang.

Fig. 10 zeigt uns ein umgekehrtes Schiff und die Art und Weise wie die Taue mit den Luftrecipienten bei der Anordnung nach Fig. 9 verbunden sind, wie sie sich unter dem Kiel kreuzen und dem Schiffe eine Art von Wiege bilden.

Fig. 11 ist ein Schiffstheil mit einem Luftrecipienten an dem Schnabel desselben, der mit einem an dem Hintertheil angebrachten correspondirt.

Fig. 12 ist die Seitenansicht eines Schiffes mit den Einrichtungen zur Aufnahme der Bolzen oder Ringhaken *a*, welche den Zweck haben, die Luftrecipienten zu halten und die unter dem Kiel durchgehenden Seile entbehrlich zu machen. Die Recipienten müssen an diesen Ringen vermittelst einer oder mehrerer Eisenstangen befestigt werden, die man durch die Ringe der Luftrecipientennetze steckt. Wenn man diese Stangen *a* längs der Schiffsflanken anzieht, so schieben sich diese Stangen unter die Haken und durch die aufsteigende Wirkung der Luftbehälter werden sie in ihrer Lage erhalten.

Um die Luftrecipienten auf ihren vortheilhaftesten Platz zu setzen, muss man auf ihre Form Rücksicht nehmen. Die kugelförmigen können folgendermassen angebracht werden, wenn das Schiff flott ist. Jedes Recipientenpaar muss, wenn man sich dessen nicht bedient, mit seinem Zubehör so gerollt werden wie das grosse Segel gerollt wird, wenn man es in das Schiff, oder von demselben transportiren will; sie werden dann aussehen wie Fig. 13, wo die beiden Luftbehälter durch die sie verbindenden Seile zusammengerollt sind. Der Theil *b* wird über das Hintertheil und die noch nicht aufgeblasenen Recipienten *a* werden über die Windvierung des Schiffes geworfen und die letztern durch die Seile *d* gehalten, von denen jedes einen beweglichen Knoten hat, durch welchen jeder Recipient gehalten oder heruntergelassen wird, bis er befestigt ist. Befindet sich der Theil *b* unter dem Kiel, so wird das Ganze vorn durch die Seile *d* an jeder Seite des Schiffes angeholt, bis es an Ort und Stelle ist; die Stricke *e* sind alsdann gespannt, sobald sie aber vorher durch die Ringe in den beweglichen Knoten *i* gegangen sind, lassen sie nach und bewirken gleichzeitig das Hinaufgehen der Knoten; die horizontal, der eine am Vordertheil, der andere am Hintertheil der Recipienten angezogenen und an diesen Puncten befestigten Stricke entfalten den letzten und mittelst der Stricke *e* wird er an dem Verdeck befestigt. Die obere Oeffnung der Röhre *f* wird über die Form des Gebläses oder der Luftpumpe am Bord des Schiffes angebracht. Das zweite und das dritte Paar der Luftbehälter werden nun auf dieselbe Art placirt, mit Luft angefüllt, und das Schiff wird sich dann im Wasser heben.

Es ist zu bemerken, dass die Recipienten jede mögliche Form erhalten können; wir haben uns hier auf die sphärischen und cylindrischen beschränkt, weil diese Formen wirklich die vortheilhaftesten von allen andern sind. Auch kann man dazu Metall, Holz oder andere feste Materialien wählen, wenn man die Löcher gehörig anbringt, aus denen das Wasser ausfliessen kann, wenn der Recipient angefüllt ist. Diese Mäntel haben eine bewegliche Wand zur Einführung des Recipienten und eine Oeffnung für die Luftröhre.

Die Einrichtungen zur Verminderung des Tiefganges der Schiffe können im Innern der Schiffe angebracht werden, doch muss man sie dann nach dem Raume dieser Fahrzeuge und nach anderen Umständen modificiren. Die Recipienten mit ihrem oben beschriebenen Zubehör eignen sich für Schiffe mit geringer Ladung, oder welche so viel freien Raum haben, dass man die Recipienten aufblähen kann; die Befestigungsweise muss aber so beschaffen sein, dass die Recipienten an Ringe oder Haken in hinreichender Anzahl gebunden werden, um die aufwärts treibende Kraft auf die ganze Länge des Schiffes zu vertheilen, wenn das Eindringen des Wassers durch ein Leck die Recipienten zu heben strebt. Die sphärische Form der Luftrecipienten ist sowohl hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit als der Oekonomie die vorzüglichste, und da der Cubicinhalt der Kugeln sich in einem grössern Verhältniss als ihre Oberfläche vermehrt, so wird ein Recipient, der irgend einen gewissen Raum einnehmen soll, vortheilhafter sein, je grössere Dimensionen er hat. Die cylindrische Form (Fig. 14) ist nach der kugelförmigen die beste, doch kann man auch, wie gesagt, jede andere Form, Quadrate, Oblonge, Kegel u. s. w. anwenden, denn der zu erreichende Zweck besteht bloss darin, mit einem Luftrecipienten alle die Räume eines Schiffes auszufüllen, die im Falle eines Lecks mit Wasser anlaufen würden. Die Luftrecipienten werden erwähntermassen fest an das Schiffsgerippe durch Ketten oder Mettallseile befestigt;

dann füllt man sie mit condensirter Luft, bevor sie an Ort und Stelle gebracht werden, und verschliesst die Oeffnung, durch welche die Luft ist eingelassen worden, hermetisch. Fig. 15 ist der Längenschnitt von dem Hintertheil eines Flussdampfschiffes; *a* ist die Kajüte. *b* leerer Raum unter derselben, *c* Raum für Ballast oder Kohle. Der Raum *b* wird, anstatt leer gelassen zu werden, mit dem Luftrecipienten *d* ausgefüllt. Hat nun das Dampfschiff aus irgend einer Ursache einen Leck bekommen und das Wasser dringt ein, so wird der Raum, den das Wasser einnehmen könnte, durch die Recipienten dermassen vermindert, dass das Gewicht des Wassers in Verbindung mit dem des Schiffes und seiner Belastung den Tiefgang nur um einige Centimeter vermehrt. Wären diese Recipienten nicht vorhanden, so würde sich der Schiffsraum ganz mit Wasser anfüllen und das Gewicht desselben nebst dem Gewicht des Schiffes und der Ladung würden das Sinken des Schiffes befördern.

Die Recipienten sollen ihren Platz stets so tief als möglich und unmittelbar über dem Ballast haben, was wohl ohne weitere Motivirung einleuchtend ist.

Dass diese bisher beschriebenen Vorrichtungen ihrem Princip nach zum Heben von Schiffen und andern schweren im Wasser versunkenen Gegenständen gebraucht werden können, versteht sich von selbst. Handelt es sich z. B. um die Hebung eines Schiffes u. s. w., das im tiefen Wasser liegt, so befestigt man Seile an dasselbe auf die gewöhnliche Art, und verbindet diese Seile mit den Hebeapparaten, blähet diese auf, und das Ganze wird so weit gehoben, dass es in ein seichteres Wasser geschafft werden kann. Soll der betreffende Körper bloss einen oder zwei Meter gehoben werden, wie wenn man von einem Lichter oder von einem Schiff zum andern überladet, oder wenn man einen Gegenstand von einem Schiff auf den Quai ausladen will, so wendet man einen von Metall umgebenen Luftrecipienten (Fig. 16) an, dessen Schwere wir mit 500 Kilogr. annehmen. Denken wir uns den Luftrecipienten mit einem hölzernen Mantel, so müssen an demselben so viele schwere Gegenstände befestigt werden, dass die ganze Last 500 Kilogr. beträgt. Der Recipient wird vermittelst eines Seiles oder einer Kette in das Wasser hinuntergelassen, das andere Ende der Kette geht über eine Rolle *b* und wird an den Gegenstand befestigt, der gehoben werden soll, s. B. ein Fass Zucker, das in einem neben gelegenen Schiffe liegt. So lange nun der Luftrecipient aufgeblasen bleibt, schwimmt er mit seinem schweren Mantel auf der Oberfläche des Wassers; lässt man aber die Luft daraus entweichen und dringt das Wasser durch die zu diesem Zweck eingebohrten Löcher in das Innere des Mantels, so wird der Apparat mit der Kraft von beiläufig 1000 Kilogr. hinabsinken und das an dem andern Ende der Kette oder des Seiles befestigte Fass wird folglich gehoben, wenn es ein geringeres Gewicht hat. Füllt man den Recipienten dann wieder mit Luft, so kehrt dieser an seine Stelle nach der Höhe zurück.

Die biegsamen Recipienten können zum Heben schwerer Körper auf dem Lande und ohne Beihülfe von Wasser gebraucht werden. Es müssen diese Körper auf ein Geflecht von Seilwerk oder von Ketten gelegt werden, wodurch die beiden Recipienten, die nicht aufgebläht sind, in Verbindung treten. Durch die Einführung von Luft werden die letztern auf eine Höhe gehoben, die ihrem Durchmesser entspricht. Dehnt man bloss die Oberfläche der Recipienten aus und erhöht die Condensation der innern Luft, so wird jedes Gewicht, das sie tragen können, auch so hoch gehoben werden.

In Fig. 17 ist eine Vorrichtung dargestellt, die aus einem festen cylindrischen Recipienten von Stoff, Kautschuk oder Leder besteht, der mit einem Gewebe dieser Art bedeckt ist; dieser Recipient kann sich innerhalb eines festen eisernen Rahmens *b* mittelst Bolzen *c* und Regulirungsringe *d* ausdehnen und zusammenziehen Eine starke Säule *e* im Centrum trägt das zu hebende Gewicht. In unserer Figur ist der Recipient in sich zusammengelegt, oder luftleer dargestellt; bläht man ihn auf, so erhebt er sich nach der ganzen Höhe der Bolzen mit dem Gewicht, worunter er liegt; ist dann die innere Luft gehörig condensirt, so schliesst man den Hahn und der Recipient bleibt aufgebläht.

Die Art und Weise Lasten zu halten oder zu unterstützen, besteht in einer gusseisernen Plateform, auf welcher Luftrecipienten von Eisen oder anderm geeigneten Metalle befestigt, mit condensirter Luft gefüllt und hermetisch verschlossen sind. Die Anzahl und die Capacität dieser Recipienten werden im Verhältniss zu dem zu tragenden Gewicht bemessen.

Projecte der a. p. balken- und bogenförmigen Gitterbrücken,

von Jos. Langer, k. k. Ingenieur.

(Mit Zeichnungen auf Blatt Nr. 22.)

(Fortsetzung.)

Project 8.

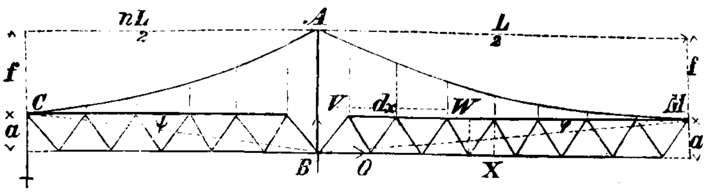
(Mit den Zeichnungen Bl. Nr. 22.)

Das im Folgenden dargestellte System ist eine steife Kettenbrücke. Die Tragkette erscheint durch einen horizontalen Gitterbalken, der zugleich ein tragender Bestandtheil der Construction ist und das beiderseitige Abschlussgeländer der Fahrbahn bildet, versteift. Die Brücke besteht wesentlich aus zwei Hälften, die im Kettenscheitel des Mittelfeldes zusammentreffen. Hier ist eine Verbindung oder Vereinigung beider Theile nur in Bezug auf lothrechte Bewegung — auf Hebung und Senkung des Scheitels — hergestellt; im wagrechten Sinne und bezüglich des in den Kettensträngen vorhandenen Horizontalzuges sind sie getrennt und können auch in diesem Sinne für sich allein betrachtet werden.

Der Horizontalzug der Ketten steht im Gleichgewicht mit der gegenwirkenden Horizontalpressung des Gitterbalkens. Kette und Balken bilden einen in sich abgeschlossenen Wagebalken oder Hebel mit in sich selbst zurückgeführter horizontaler Lastwirkung. Denn die Kettenstränge sind an ihren Enden mit dem obern Längsbande des Balkens verbunden, wodurch der Kettenzug von diesem Bande und (vermittelst der diagonalen Gitterstreben)von dem unteren Längsbande des Balkens entgegengenommen wird. Die Wechselwirkung zwischen Kette und Balken wird übrigens aus der Betrachtung der Figuren klar.

Das ziffermässige Eingehen in die Sache stellt die Tragfähigkeit dieses Hebelsystems und seine Besonderheiten heraus

Berechnung der Tragfähigkeit. Der in einer Systemhälfte zu betrachtende Hebel ruht auf dem Stützpfeiler AB) und ist mit einem Ende an das Lastmauerwerk des Landpfeilers (C) vermitttelst einer verticalen Verankerung nach Andeutung der beistehenden Figur gebunden.



Die Länge des Mittelfeldarmes des Hebels heise $\frac{L}{2}$, die halbe Länge des Mittelfeldes der Brücke bezeichnend, und sein aus der Eigenlast und aus der zufälligen Belastung bestehendes Gewicht sei $\frac{(\alpha+1)P}{2}$, die halbe Last des ganzen Mittelfeldes vorstellend.

Die Länge des Seitenfeldarmes sei allgemein $\frac{nL}{2}$ und sein Gesammtgewicht bei gleicher Gewichtsbemessung auf die Längeneinheit $\frac{(\alpha+1)nL}{2}$.

Der Krümmungspfeil des Kettenbogens sowohl in einem wie im andern Felde soll f, die Höhe der Wand des Stemmbalkens soll a sein, wornach der grösste Horizontalzug im Systeme sich bei der Stützhöhe $(f+a)$ auf

$$O=\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (I)$$

stellt.

Ich will im Folgenden das Verhalten des Stemmbalkens im einen und andern Hebelsarme bei der Gesammtbelastung und auch bei partiellen Belastungen, d. i. bei der Belastung einzelner Brückenfelder untersuchen.

a) Das Mittelfeld bei der Gesammtbelastung der Brücke.

Ein Theil der vorhandenen Last wirkt lediglich auf die Tragkette, ihre Krümmung normirend und erzeugt in ihr den obigen Horizontalzug O. Der übrige Theil der vorhandenen Last fällt auf den Gitterbalken und nimmt ihn auf Biegung in Anspruch. Der letztere Lasttheil strebt die Kettencurve zu deformiren, aber die Steifigkeit des Balkens wiedersteht der Deformirung. Es frägt sich, wie gross der eine und der andere Lasttheil ist?

Wenn ich den erstern mit $\frac{p}{2}$ bezeichne, so ist auch

$$O=\frac{pL}{8f}, \text{ so wie } O=\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)} \text{ ist.}$$

Die Gleichheit beider Werthe liefert die Gleichung

$$\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}=\frac{pL}{8f} \text{ oder } \frac{(\alpha+1)P}{f+a}=\frac{p}{f},$$

$$\text{woraus } p=\frac{(\alpha+1)Pf}{f+a} \text{ und } \frac{p}{2}=\frac{(\alpha+1)P}{2}\,\frac{f}{f+a} \quad \ldots (II)$$

gefunden wird. Der übrige Lasttheil besteht in der Differenz von

$$\left.\begin{aligned} V&=\frac{(\alpha+1)P}{2}-\frac{p}{2}=\frac{(\alpha+1)P}{2}-\frac{(\alpha+1)P}{2}\,\frac{f}{f+a} \\ &=\frac{(\alpha+1)P}{2}\,\frac{a}{f+a} \ldots\ldots\ldots \end{aligned}\right\}(III)$$

Ich fasse nur den Gitterbalken und die auf ihn wirkenden Kräfte (O und V) ins Auge und stelle die für das Gleichgewicht dieser Kräfte und der Widerstände (W und X) geltenden Gleichungen auf. Diese sind:

$$\left.\begin{aligned} Wa&=Vd_x-\frac{Vd_x^2}{L} \ldots \\ Xa&=-V\delta_x+\frac{V\delta_x^2}{L}+O\,a \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots (IV)$$

Nach Einführung der Werthe für O und V aus I und III in diese erscheinen die specifischen Bestimmungsformeln:

$$\left.\begin{aligned} W&=\frac{(\alpha+1)P}{2(f+a)}\left(d_x-\frac{d_x^2}{L}\right) \ldots\ldots \\ X&=\frac{(\alpha+1)P}{2(f+a)}\left(-\delta_x+\frac{\delta_x^2}{L}\right)+\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)} \end{aligned}\right\} \ldots (V)$$

in welchen für $d_x=0$, $W=0$,

für $d_x=\frac{L}{2}$, $W=\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}$,

für $\delta_x=0$, $X=\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}$,

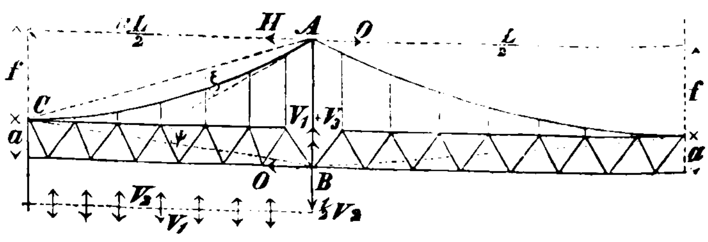
und für $\delta_x=\frac{L}{2}$, $X=0$ wird, wie es sein muss.

Soll das Verhalten des Balkens für den unbelasteten Zustand der Brücke lauten, so hat man in den letzten Bestimmungsformeln nur das Constructionsgewicht αP, anstatt des Gesammtgewichts $(\alpha+1)P$ zu schreiben, womit

$$\left.\begin{aligned} W&=\frac{\alpha P}{2(f+a)}\left(d_x-\frac{d_x^2}{L}\right) \ldots\ldots \\ X&=\frac{\alpha P}{2(f+a)}\left(-\delta_x+\frac{\delta_x^2}{L}\right)+\frac{\alpha PL}{8(f+a)} \end{aligned}\right\} \ldots (VI)$$

b) Das Seitenfeld bei der Gesammtbelastung der Brücke:

Der Seitenarm des Hebelsystems steht mit dem Mittelfeldarme derart im Zusammenhang und in Wechselwirkung, dass sich der Horizontalzug beiderseits gleich stellt. In Hinweis auf dies Stattfinden und im Hinblick auf die beistehende Figur



wird sein:

Die Horizontalkraft aus der Last des Mittelfeldes, wie oben gesetzt,

$$O=\frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)};$$

Die Horizontalkraft aus der Last des Seitenfeldes von $\frac{nL}{2}$ Stützlänge allein

$$H=\frac{(\alpha+1)n^2PL}{8(f+a)},$$

aber auch nach einem analogen Raisonnement, wie früher

$$H = \frac{pnL}{8f},$$

also bei der Gleichheit und Gleichstellung beider Ausdrücke von H

$$\frac{(\alpha+1)n^2 PL}{8(f+a)} = \frac{pnL}{8f} \text{ oder } \frac{(\alpha+1)PL}{f+a} = \frac{p}{f},$$

woraus

$$p = (\alpha+1)nP\frac{f}{f+a} \text{ und } \frac{p}{2} = \frac{(\alpha+1)nP}{2}\frac{f}{f+a}, \quad \text{(VII)}$$

und woraus ferner

$$V_1 = \frac{(\alpha+1)nP}{2} - \frac{p}{2} = \frac{(\alpha+1)nP}{2}\frac{a}{f+a} \ldots \quad \text{(VIII)}$$

Das Uebergewicht des Mittelfeldes wirkt auf den Seitenfeldarm in der Differenz der Horizontalspannung O und H, und ist

$$O - H = \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)} - \frac{(\alpha+1)n^2 PL}{8(f+a)} = \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}(1-n^2).$$

Das lothrechte Aequivalent dieser Wirkung, welches den Balken auf Biegung in Anspruch nimmt, ist

$$V_2 = 2(O-H)\operatorname{tang}\varrho = 2(O-H)\frac{2f}{nL} = \frac{(\alpha+1)P}{2n}\frac{f}{f+a}(1-n^2).$$

Weiter kommt in Betracht die Verticalkraft:

$$V_3 = (O-H)\operatorname{tang}\psi = (O-H)\frac{2a}{nL} = \frac{(\alpha+1)P}{4n}\frac{a}{f+a}(1-n^2).$$

Die obigen Werthe V_1, V_2, V_3 und O werden nun in die hier für das Gleichgewicht geltenden Analogien

$$\left.\begin{aligned} Wa &= (V_1 + V_3 - \tfrac{1}{2}V_2)\,d_x - \frac{V_2 - V_1}{nL}d_x^2 \\ Xa &= (\tfrac{1}{2}V_2 - V_1 - V_3)\,\delta_x + \frac{V_1 - V_2}{nL}\delta_x^2 + Oa \end{aligned}\right\} \ldots \text{(IX)}$$

einzuführen sein, wornach folgende specifische Bestimmungsformeln zum Vorschein kommen:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{(\alpha+1)P}{2a(f+a)}\left[\left(na + \frac{a-f}{2n}(1-n^2)\right)d_x - \frac{n^2a - f(1-n^2)}{n^2}\frac{d_x^2}{L}\right] \ldots \\ X &= \frac{(\alpha+1)P}{2a(f+a)}\left[-\left(na + \frac{(a-f)(1-n^2)}{2n}\right)\delta_x + \frac{n^2a - f(1-n^2)}{n^2}\frac{\delta^2}{L}\right] + \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots \text{(X)}$$

c) Das ledige Seitenfeld bei der Belastung des Mittelfeldes.

1. Anlässlich der Eigenlast der Construction verhält sich der Seitenfeldarm nach den Formeln:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{\alpha P}{2a(f+a)}\left[\left(na + \frac{(a-f)(1-n^2)}{2n}\right)d_x - \frac{n^2a - f(1-n^2)}{n^2}\frac{d_x^2}{L}\right] \ldots \\ X &= \frac{\alpha P}{2a(f+a)}\left[-\left(na + \frac{(a-f)(1-n^2)}{2n}\right)\delta_x + \frac{n^2a - f(1-n^2)}{n^2}\frac{\delta_x^2}{L}\right] + \frac{\alpha PL}{8(f+a)}, \end{aligned}\right\} \ldots \text{(XI)}$$

welche Formeln aus den vorhergehenden (X) durch Einverleibung von αP anstatt $(\alpha+1)P$ abgeleitet sind.

2. Anlässlich der zufälligen Belastung des Mittelfeldes verhält sich der Seitenfeldbalken gemäss den Formeln:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{P}{2na(f+a)}\left(-\frac{f-a}{2}d_x + \frac{f}{nL}d_x^2\right) \ldots \\ X &= \frac{P}{2na(f+a)}\left(\frac{f-a}{2}\delta_x^2 - \frac{f}{nL}\delta_x^2\right) + \frac{PL}{8(f+a)} \end{aligned}\right\} \text{(XII)}$$

denn es sind hier die Grundgleichungen

$$\left.\begin{aligned} W_1\, a &= -Vd_x + \frac{Qd_x^2}{nL} \\ X_1\, a &= V\delta_x - \frac{Q\delta_x^2}{nL} + Ha \end{aligned}\right\}$$

mit den einzuführenden Hilfswerthen $H = \frac{PL}{8(f+a)}$,

$$Q = 2H\operatorname{tang}\varrho = 2H\frac{2f}{nL} = \frac{P}{2n}\frac{f}{f+a}.$$

und

$$V = V_2 V_1 = \frac{Pf}{4n(f+a)} - \frac{Pa}{4n(f+a)} = \frac{P(f-a)}{4n(f+a)}.$$

Die vereinigte Inanspruchnahme $W + W_1$ und $X + X_1$ gibt das gewünschte Verhalten des Seitenfeldbalkens

Durch Vollziehung der Addition in den Formeln XI und XII erhält man die folgenden stellvertretenden Ausdrücke:

$$\left.\begin{aligned} W + W_1 &= \frac{P}{2a(f+a)}\left[\left(\alpha na + \frac{(a-f)(1+\alpha-\alpha n^2)}{2n}\right)d_x + \left(\frac{f(1+\alpha-\alpha n^2)}{n^2} - \alpha a\right)\frac{d_x^2}{L}\right] \ldots \\ X + X_1 &= \frac{P}{2a(f+a)}\left[-\left(\alpha an + \frac{(a-f)(1-\alpha n^2)}{2n}\right)\delta_x + \left(\frac{f(1+\alpha-n^2)}{n^2} - \alpha a\right)\frac{\delta^2}{L}\right] + \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots \text{(XIII)}$$

Für den besonderen Constructionsfall, als die beiden Arme des Hebelsystems gleich lang, als $n = 1$ ist, werden die letzten Formeln unter Einsetzung dieses Werthes ($n = 1$) einfach so lauten:

$$\left.\begin{aligned} W + W_1 &= \frac{P}{2a(f+a)}\left[\left(\alpha a - \frac{f-a}{2}\right)d_x + \frac{f - \alpha a}{L}d_x^2\right] \ldots \\ X + X_1 &= \frac{P}{2a(f+a)}\left[-\left(\alpha a - \frac{f-a}{2}\right)\delta_x + \frac{f - \alpha a}{L}\delta_x^2\right] + \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots \text{(XIV)}$$

d) Das allein belastete Seitenfeld, das Mittelfeld unbelastet gedacht. Wenn das Seitenfeld allein belastet ist, hat man für das Verhalten des Seitenfeldarmes

1. anlässlich der Constructionslast die obigen Formeln XI;
2. anlässlich der zufälligen Belastung die Formeln:

$$\begin{matrix} W' \\ X' \end{matrix} = \pm\frac{P}{2a}\left(\frac{n}{2}d_x - \frac{d_x^2}{L}\right) \ldots \text{(XV)}$$

Die vereinigte Inanspruchnahme $W + W'$, $X + X'$, wie sie sich aus der Combination dieser Formeln berechnet, gibt das gesuchte Verhalten.

f. Die Inanspruchnahme der Gitterstreben des Balkens. Zur Auffindung dieser dient in allen Fällen der Belastung die Relation

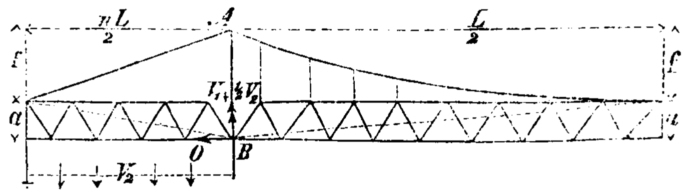
$$Y = \frac{X_2 - X_1}{2\cos\beta} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(XVI)}$$

in welcher X_1 und X_2 die Pressungen zweier anliegender, im Knoten eines fraglichen Strebenpaares zusammenstossender Längsglieder des Gitterbalkens bezeichnen und β den Winkel ausdrückt, den die Streben mit den Längsgliedern einschliessen.

g) Wenn der Constructeur das Seitenfeld des Hebelsystems im Vergleich zum Mittelfelde bedeutend kurz anzunehmen hat, wenn er etwa $\frac{nL}{2} \lessgtr \frac{L}{4}$ setzt, so wird es zweckmässig sein, die Tragkette (AC) im Seitenfelde aufzulassen und selbe durch die gerad ablaufende Spannkette (AC) nach Andeutung der beistehenden Figur zu ersetzen.

In diesem Falle der Construction berechnet sich das Verhalten des Balkens im Seitenfelde wie folgt:

Die statischen Gleichgewichtsformeln lauten allgemein:



$$\left.\begin{aligned} Wa &= (V_1 + \tfrac{1}{2} V_2)\, d_x - \frac{V_2\, d_x^2}{nL} \ldots\ldots \\ Xa &= -\, (V_1 + \tfrac{1}{2} V_2)\, \delta_x + \frac{V_2\, \delta_x^2}{nL} + Oa \end{aligned}\right\} \ldots \text{(XVII)}$$

In diesen gilt:

1. Bei der Belastung der ganzen Brücke (des Seiten- und Mittelfeldes):

$$V_1 = \frac{(\alpha+1)Pa}{4n(f+a)},\ V_2 = \frac{(\alpha+1)nP}{2} \text{ und } O = \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)},$$

womit man erhält:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{(\alpha+1)P}{2a}\left[\left(\frac{a}{2n(f+a)} + \frac{n}{2}\right) d_x - \frac{d_x^2}{L}\right] \ldots\ldots\ldots \\ X &= \frac{(\alpha+1)P}{2a}\left[-\left(\frac{a}{2n(f+a)} + \frac{n}{2}\right)\delta_x + \frac{\delta_x^2}{L}\right] + \frac{(\alpha+1)P}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(XVIII)}$$

2. Bei der Belastung des Mittelfeldes, das Seitenfeld unbelastet, gilt

$$V_1 = \frac{(\alpha+1)Pa}{4n(f+a)},\ V_2 = \frac{\alpha nP}{2} \text{ und } O = \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)},$$

womit man erhält:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{P}{2a}\left[\left(\frac{(\alpha+1)a}{2n(f+a)} + \frac{\alpha n}{2}\right) d_x - \frac{\alpha\, d_x^2}{L}\right] \ldots\ldots\ldots \\ X &= \frac{P}{2a}\left[-\left(\frac{(\alpha+1)a}{2n(f+a)} + \frac{\alpha n}{2}\right)\delta_x + \frac{\alpha\,\delta_x}{L}\right] + \frac{(\alpha+1)PL}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(XIX)}$$

3. Im unbelasteten Zustande der Brücke ist

$$V_1 = \frac{\alpha Pa}{4n(f+a)},\ V_2 = \frac{\alpha nP}{2} \text{ und } O = \frac{\alpha PL}{8(f+a)},$$

womit man erhält:

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{\alpha P}{2a}\left[\left(\frac{a}{2n(f+a)} + \frac{n}{2}\right) d_x - \frac{d_x^2}{L}\right] \ldots\ldots\ldots \\ X &= \frac{\alpha P}{2a}\left[-\left(\frac{a}{2n(f+a)} + \frac{n}{2}\right)\delta_x + \frac{\delta_x^2}{L}\right] + \frac{\alpha PL}{8(f+a)}. \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(XX)}$$

4. Das allein belastete Seitenfeld hat

$$V_1 = \frac{\alpha Pa}{4n(f+a)},\ V_2 = \frac{(\alpha+1)nP}{2} \text{ und } O = \frac{\alpha PL}{8(f+a)}, \text{ also}$$

$$\left.\begin{aligned} W &= \frac{P}{2a}\left[\left(\frac{\alpha a}{2n(f+a)} + \frac{(\alpha+1)n}{2}\right) d_x - \frac{(\alpha+1)\, d_x^2}{L}\right] \ldots\ldots\ldots \\ X &= \frac{P}{2a}\left[-\left(\frac{\alpha a}{2n(f+a)} + \frac{(\alpha+1)n}{2}\right)\delta_x + \frac{(\alpha+1)\,\delta_x^2}{L}\right] + \frac{\alpha PL}{8(f+a)}, \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(XXI)}$$

Berichtigung zur Theorie der Lenoir'schen Gasmaschine.

Herr Director Dr. F. Grashof theilt in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure, B. V. S. 217, die in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereines 1861, S. 85, enthaltene Theorie der Gasmaschine mit, und berichtiget hierbei ein, für die numerischen Ergebnisse übrigens nicht erhebliches Versehen. Da nämlich nach der Verpuffung die Dichte δ des Gemenges grösser ist als vor derselben, und da nach dem Gay-Lussac — Mariotte'schen Gesetz die Spannung p bei gleichem Volumen V, gleicher absoluter Temperatur T, und gleichem Gewicht L dem specifischen Gewichte σ_0 bei einer Atmosphäre und bei 0° Cels. oder auch der Dichte δ verkehrt proportional ist *), so ist die Spannung des Gemenges, welche vor der Verpuffung eine Atmosphäre betrug, nach derselben nicht beziehungsweise:

$$p_0 = 1{,}0079,\ 1{,}0105,\ 1{,}0131 \text{ Atm.},$$

sondern

$$p_0 = 0{,}9921,\ 0{,}9895,\ 0{,}9896 \text{ Atm.},$$

folglich

$$p_1 = 2{,}942,\ \ 3{,}656,\ \ 4{,}360 \text{ Atm.}$$

---

*) Es ist nämlich für französisches Maass

$$\frac{pV}{T} = L.\ \frac{37{,}874}{\sigma_0} = L.\ \frac{29{,}287}{\delta}$$

Hiermit folgt für zweifache Expansion:

Die Endspannung $p_2 = 1{,}114,\ 1{,}387,\ 1{,}659$,

die abs. Endtemperatur $F_2 = 838,\ 1046,\ 1254$,

die durch Abkühlung bis zum Sinken auf die Endspannung $p_2 = 1{,}2$ erhaltene absolute Endtemperatur . . . . $T_2 = \ldots$. 905, 907,

also die durch Abkühlung entzogene Temperatur . . . . $\tau = \ldots$. 141, 347,

und die wahre Endtemperatur in Graden Celsius . . . . $t_2 =$ 565, 632, 634.

Verglichen mit . . . . $t_1 =$ 833, 1105, 1357,

folgt $t_1 - t_2 - \tau =$ 268, 332, 394

wieder übereinstimmend mit dem Text.

Es wurden also nur die Werthe von τ mit 160 und 370 statt 141 und 347 etwas zu hoch, und die von t_2 etwas zu niedrig gefunden, was zur Folge hat, dass die durchschnittliche Cylindertemperatur noch etwas höher und die Kühlwassermenge etwas kleiner ausfällt. Auf die Effects- und Kostenberechnung pflanzt sich der Fehler nicht fort.

Gustav Schmidt.

Literaturbericht.

Theorie der Dampfmaschinen. Von Gustav Schmidt, k. k. Kunstmeister und Docent des Maschinenbaues. Mit in den Text eingedruckten Holzschnitten. Freiberg, Buchhandlung von J. G. Engelhardt (Bernhard Thierbach) 1861.

„Wenn eine neue Theorie bestimmt sein soll, eine bisher als gut erkannte und mit den Erfahrungen in genügender Uebereinstimmung stehende Theorie zu verdrängen, so muss erstens vom wissenschaftlichen Standpuncte aus nachgewiesen werden, dass durch die Fortschritte der Wissenschaft der Boden der frühern Theorie schwankend geworden sei und etwas Besseres sich an die Stelle derselben setzen lasse, und zweitens muss vom practischen Gesichtspunct aus gezeigt werden, dass das Neue für die Anwendung bequemer sei als das Alte, sonst hat es trotz der etwa grösseren Genauigkeit keinen practischen Werth, weil für die Anforderungen der Praxis das Alte auch genügend war."

Mit diesen Worten einleitend, bezeichnet Verfasser als Mängel der bisher gebräuchlichen Pambour'schen Dampfmaschinentheorie:

1. die Anwendung der bekannten empirischen Formel:

$$\sigma = \alpha + \beta p$$

zur Bestimmung des specifischen Gewichtes σ des Dampfes aus dem Druck p desselben, welche nur innerhalb gewisser Grenzen richtig ist;

2 die Annahme, dass der Dampf während der Expansion im gesättigten Zustande verbleibt; wogegen neuere Versuche sowohl als theoretische Untersuchungen zeigten, dass hiebei eine theilweise Condensation stattfinde.

Ausserdem führt die Pambour'sche Theorie zu complicirten Formeln, wesshalb sich die Practiker lieber blosser Erfahrungszahlen bedienen. „Dass da nicht oft grosse Anstände zu Tage kommen, ist einzig und allein dem Umstande zu danken, dass die Dampfmaschine ein gar so geduldiges Ding ist, und selbst grobe Dimensionsfehler dem Laien gar nicht ersichtlich werden."

Das obige Werk ist nun auf die neueren, insbesondere der mechanischen Wärmetheorie entnommenen Anschauungen und Resultate gegründet; desshalb geht der eigentlichen Dampfmaschinenlehre eine Darlegung jener Resultate voraus. Verfasser kommt dabei bis auf die Constitution der Körper zurück und erläutert die gegenwärtigen Ansichten hierüber, jedoch weniger zur Begründung seiner Theorie, welche von diesen Ansichten unabhängig ist, als um eine bestimmte Ausdrucksweise in den folgenden Untersuchungen gebrauchen zu können, welche denn im Geiste der Clausius'schen Hypothese gehalten sind. Diese sehr populären Untersuchungen setzen beim Leser gar keine Kenntniss der mechanischen Wärmetheorie voraus; Verfasser hat dieselben bereits in seinem „Beitrag zur Mechanik der Gase" *), theilweise auch in Vorträgen bei den Sitzungen des Ingenieur-Vereines **) dargelegt; wir heben daher nur das für die Dampfmaschinentheorie Bemerkenswertheste daraus hervor.

Ausser dem allgemein anerkannten Satze der Aequivalenz von Wärme und Arbeit werden folgende Annahmen gemacht:

1. Das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz ist nicht bloss für permanente Gase, sondern auch für Dämpfe, mithin den Wasserdampf gültig. Die Richtigkeit dieses Satzes ist in einer sehr verdienstlichen Arbeit Zeuner's: „Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie" in Frage gestellt worden. Zeuner entwickelt dort eine empirische Gleichung für die Beziehung zwischen Spannkraft, Volum und Temperatur des Wasserdampfes; allein die hiernach berechneten Dichten weichen zu sehr von den bisher angenommenen ab.

2. Die specische Wärme (Wärmecapazität bei constantem Druck) des Wasserdampfes ist $= 0{,}382$; hiernach die rationelle Wärmecapacität $= 0{,}271$, und der Quotient zwischen beiden $= 1{,}41$ wie für atmosphärische Luft. Gegen die Zahl 0,382, welche auf die Theorie wesentlichen Einfluss nimmt, liesse sich einwenden, dass sie nur aus einem empirischen Gesetz abgeleitet ist und von frühern Angaben differirt; wogegen Verfasser geltend macht, dass diese selbst bedeutend von einander abweichen (so haben durch Versuche Regnault 0,475, durch Rechnung Zeuner 0,346 und Rankine 0,305 gefunden); ferner liefert das erwähnte empirische Gesetz für zahlreiche andere Dämpfe mit den Versuchen gut übereinstimmende Resultate, und endlich stehen die hieraus für die Dampfmaschinentheorie abgeleiteten Regeln mit den besten Erfahrungsdaten im Einklange.

3. Das Poisson'sche Gesetz ist für permanente Gase gültig. Auch hiefür sprechen die Versuchsresultate.

4. Bei der Expansion des Wasserdampfes wird so viel Wasser condensirt, dass die hiebei freiwerdende Wärme gerade ausreicht, den übrigbleibenden Dampf in gesättigtem Zustand zu erhalten ***). Hieraus folgt, dass die Condensation bei

*) Sitzungsberichte der mathem. naturw. Klasse der kaiserl. Akademie der Wissenschaften, Bd. XXXIX. Seite 41.

**) Vergl. die frühern Hefte des Jahrg. 1861 dieser Zeitschrift.

***) Vergl. S. 57 u. 58 im Februar-Märzheft 1861 dieser Zeitschrift.

der Expansion ein innerer Vorgang sei, ohne Einfluss auf die nach Aussen abgegebene Arbeitsgrösse, welche Verfasser mithin so berechnet, als ob der Dampf sich wirklich dem Poisson'schen Gesetz entsprechend verhalten würde.

Gestützt auf den im I. Abschnitt entwickelten „wissenschaftlichen Apparat" schreitet nun Verfasser im II. und III. Abschnitt zur Berechnung der einfach- und doppeltwirkenden Maschinen. Die Anordnung des Stoffes ist in beiden Abschnitten die gleiche: Entwicklung der theoretischen Formeln, Anwendung derselben auf bestehende Maschinen behufs Ableitung der nöthigen empirischen Coefficienten, Regeln zur Berechnung neuer Maschinen nebst erläuternden Beispielen. Auf das Detail eingehend, finden wir statt des sonst üblichen „Wirkungsgrades" eine andere Grösse, das „Güteverhältniss der Maschine" eingeführt, d. h. die Anzahl Pferdekräfte-Nutzwirkung, welche ein Kilogramm verdampftes Speisewasser in einer Secunde producirt. Ein eigenthümliches und wirksames Mittel zur Vereinfachung der Formeln für die doppeltwirkenden Maschinen ist die Annahme einer bestimmten mittleren Schieberanordnung, welche indessen die Anwendung der Theorie nicht wesentlich beschränkt, da die vereinfachten Formeln bloss dann ungenaue Resultate geben, wenn die Schieberanordnung von der angenommenen mittleren bedeutend abweicht.

Die Heizfläche nimmt Verfasser bei Kesseln mit Vorwärmrohr zu 150, bei einfachen cylindrischen aber nur zu 110 bis 120 Quadratmeter für jedes pr. Secunde zu verdampfende Kilogramm Speisewasser.

Eine Untersuchung über den vortheilhaftesten Expansionsgrad führt zu dem Schlusse, dass bei nachstehenden Maschinensystemen der beigesetzte Expansionsgrad das Maximum des Güteverhältnisses erziele:

	Expansionsgrad.
a) Hochdruck ohne Condensation . . .	2 bis 2,5
b) Mitteldruck mit „ . . .	3
c) Hochdruck mit „ . .	5

Für diese drei Systeme ergibt sich bei Anwendung des vortheilhaftesten Expansionsgrades gegenüber den Maschinen ohne Expansion eine Brennstoff-Ersparung von beziehungsweise 16, 26 und 38%. Beim System *a)* ist also schon ungefähr doppelte Expansion die vortheilhafteste. Hieraus erklärt der Verfasser, warum Hochdruckmaschinen ohne Condensation meist auch ohne Expansion hergestellt werden, weil nämlich die grösseren Kosten, welche die Einrichtung auf Expansion fordert, durch die 16procentige Ersparung an Brennstoff nicht hinlänglich gedeckt werden. Hochdruck-Condensationsmaschinen dagegen lässt man wohl immer mit Expansion arbeiten. Besonders empfehlenswerth ist es, die Maschinen mit variablem Widerstand auf Expansion einzurichten und bei abnehmendem Widerstand den Expansionsgrad zu erhöhen, wobei die Maschine vortheilhafter arbeitet, als wenn der Expansionsgrad unverändert gelassen und bloss die Cylinderspannung herab gesetzt wird. Die Condensation allein erzielt unter sonst gleichen Umständen eine Brennstoffersparung von 26 bis 33 pCt. und eine Verminderung der Kesselspannung um $1^1/_4$ bis $2^1/_2$ Atmosphären, also billigere Kessel; sie verursacht hingegen grössere Anlags- und Erhaltungskosten der Maschine.

Die einfachwirkenden Maschinen werden hauptsächlich zum Betriebe grosser Pumpen benützt. Dass man bei den Wasserhebungsmaschinen, gerade wenn es sich um grosse Leistungen handelt, zu dem Princip der einfachen Wirkung greift, erklärt der Verfasser durch das Bedürfniss einer veränderlichen Leistung, welches bei diesen Maschinen am entsprechendsten, und zwar mittelst Pausen zu erfüllen ist, die man zwischen den einzelnen Huben eintreten lässt. Der Gang der einfachwirkenden Maschinen ist ein wesentlich verschiedener, je nachdem sie mit oder ohne Expansion arbeiten. Bei den einfachwirkenden Expansionsmaschinen macht man das Gestänge absichtlich weit schwerer als zum Betrieb der Pumpen nöthig ist und gleicht die Ueberwucht durch einen Contrebalancier mit Gegengewichten aus. Man erhält dadurch grosse bewegte Massen, welche in der ersten Periode des Hubes eine gewisse lebendige Kraft erhalten und dann bei abnehmendem Dampfdruck wieder abgeben, also die Beendung des Hubes ermöglichen, wenn auch der Dampfdruck unter dem Kolben schon kleiner geworden ist, als das wirksame Gestänggewicht. *) Die Bewegung ist also bis zu einem gewissen Maximum beschleunigt und von da an wieder verzögert, während bei Maschinen ohne Expansion die Geschwindigkeit, einen kurzen An- und Endlauf ausgenommen, eine gleichförmige ist. Nur durch Vermehrung der bewegten Massen ist es möglich, wie dies in England geschieht, bis auf achtfache Expansion zu gehen. Die Leistung in der Volldruckperiode erreicht dann bei Maschinen von grossen Dimensionen eine ausserordentliche Höhe; sie steigt z. B. bei der Bleiberger-Wasserhaltungs-Balanciermaschine, welche 2,67 Meter Kolbendurchmesser besitzt, mit fünffacher Expansion und $2^1/_4$ Atmosphären mittlerer Volldruckspannung arbeitet, weit über 1000 Pferdekraft. Der Maximaldruck auf den obern Cylinderdeckel beträgt 13700 Kilogramme. „Zwei darauf gestellte Semmering-Tendermaschinen vermöchten nicht den unangeschraubten Deckel zu erhalten!"

Die Theorie der einfachwirkenden Expansionsmaschinen enthält einige längere Deductionen, da bei Ermittlung des Gestäng- und Gegengewichtes die Massenwirkungen (insbesondere der Balanciers) in Rechnung kommen; doch sind auch hier die Formeln schliesslich auf eine bequeme Form reducirt. Als besonders vortheilhaft stellt sich bei starker Expansion die Anwendung eines Dampfhemdes heraus. Wir haben noch nirgends einen so deutlichen Aufschluss über diesen Punct gefunden. Während die zur Verdampfung des Speisewassers verbrauchte Wärmemenge grösstentheils (durch die latente Wärme des Dampfes) verloren geht, gelangen von der Wärmemenge, welche den Heizdampf erzeugte, wenigstens 50 pCt. in den Cylinder; fast so, als ob man diesen von den Verbrennungsgasen selbst umspielen liesse. Das Güteverhältniss, welches bei doppeltwirkenden Maschinen gewöhnlich zwischen 100 und 200 liegt, ist bei einfachwirkenden viel grösser und kann bei Anwendung von Condensation, Expansion und Dampfheizung bis auf 400 gebracht werden, wie z. B. bei der Wicksteed'schen Maschine zu Oldford bei Lon-

*) Vergleiche Seite 15 im Januarheft 1861 d. Zeitschr.

don. Hiezu tragen auch die grossen Dimensionen dieser Maschinen bei.

Eine Bemerkung wollen wir nicht unterdrücken, da der Verfasser es unterlässt, sie selbst zu machen. Man spricht oft von dem Gewichtsverlust, den das hölzerne auf die Höhe H in die Aufsatzröhren eines Hubsatzes tauchende Gestänge vom Querschnitt a bei seinem Niedergange im Wasser erleidet. Dieser Gewichtsverlust beträgt $a H \gamma$ (γ = dem Gewichte einer Volumseinheit Wasser) und rührt daher, dass das Wasser theils direct, theils durch die offenen Ventile hindurch auf eine dem Gestängequerschnitt gleiche Kolbenfläche a mit der Kraft $a H \gamma$ von unten nach aufwärts drückt. Der Verfasser zieht diesen Druck als nützlichen Widerstand beim Niedergang in Rechnung, statt denselben vom Gestänggewicht abzuziehen und vermeidet dadurch den Begriff „Gewichtsverlust eines Körpers im Wasser", welcher fehlerhaft ist und nur zu Irrthümern Anlass gibt. Ein Körper verliert ja im Wasser nichts von seinem Gewicht, er unterliegt nur dem allseitig auf ihn wirkenden Wasserdruck. Geht der Hubpumpenkolben aufwärts, sind also die Kolbenventille geschlossen und denkt man sich das Gestänge bis zum Kolben anstehend von gleichem Querschnitt a, so fällt dieser fictive Gewichtsverlust $a H \gamma$ sogleich weg, und man hat wirklich das volle Gestänggewicht, mehr dem Gewicht des in dem ringförmigen Raum, um das Gestränge befindlichen Wassers zu heben.

Im IV. Abschnitt „Ergänzende Betrachtungen" weist der Verfasser nach, dass der wahre Wirkungsgrad, welcher im Sinne der mechanischen Wärmetheorie nichts Anderes ist als das Verhältniss zwischen der in nützliche Arbeit umgesetzten und der auf Dampfbildung verwendeten Wärme, gewöhnlich 2—3, selten 5 und nur unter den günstigsten Verhältnissen (bei der Maschine zu Oldford) bis 12 pCt. beträgt. Am besten wird noch die auf Ueberhitzung des Dampfes verwendete Wärme ausgenützt, von welcher sich mindestens 20 pCt. in Arbeit umsetzen.

Nach einem kurzen Abriss der Pambour'schen Theorie gibt der Verfasser zum Schlusse ein Programm, wie mittelst der beiden Clausius'schen Gleichungen eine exacte Theorie der Dampfmaschinen zu entwickeln wäre. Hiezu fehlt nur eine strenge Ableitung der ersten Clausius'schen Gleichung. Diese „Zukunftstheorie" hat aber mehr ein rein wissenschaftliches Interesse und wird die gegenwärtig festgestellten Regeln für die Praxis nicht wesentlich abändern.

Wir wünschen mit dem Verfasser, es möge an bestehenden gut arbeitenden Maschinen eine thunlichst grosse Zahl von Versuchen abgeführt werden, von denen sich einerseits eine weitere Bekräftigung der neuen Theorie, andererseits bestimmte Anhaltspuncte für die Werthe einiger der Schätzung überlassenen Grössen erwarten lassen. Diese Erfahrungszahlen sind übrigens aus dem wenigen zu Gebote stehenden Materiale mit Sorgfalt abgeleitet.

Druck und Ausstattung sind gefällig, die Darstellung leicht fasslich und doch compendiös; das Buch umfasst nicht mehr als 17 Druckbogen. Dem Titel desselben entsprechend ist darin nur die Berechnung der Hauptgrössen, nicht aber die Construction enthalten. Tabellen und graphische Darstellungen erleichtern den Gebrauch der Formeln, und wo letztere zu complicirt ausfielen, sind sie durch einfache Näherungsberechnungen ersetzt. Überhaupt ist anerkennenswerth, dass der Verfasser bei allen Resultaten eine gewisse Gleichförmigkeit in Bezug auf Genauigkeit beobachtet und jede Subtilität in der Berechnung vermieden hat, welche unpractisch und besonders dann nicht am Platze ist, wenn sie sich nur auf einzelne Elemente erstreckt, während bei anderen grössere Venachlässigungen stattfinden müssen. Und obwohl uns die Theorie der Dampfmaschinen, von dem neuen Standpuncte aufgefasst, zu welchem die Wissenschaft seit dem Auftreten der mechanischen Wärmetheorie geführt hat, im vorliegenden Werke noch nicht vollkommen abgeschlossen erscheint, so zweifeln wir doch nicht, es werde jeder unpartheiische Leser in das Urtheil einstimmen, dass der Verfasser auf diesem bisher noch wenig betretenen Felde etwas ganz Vorzügliches geleistet habe.

Julius v. Hauer.

Die Ericsson'sche calorische Maschine und Lenoir's Gasmaschine, von H. Boëtius, Civil-Ingenieur. Mit einer Tafel. Zweite vermehrte Auflage. Hamburg. Otto Meissner. 1861.

Eine kleine Brochure, die man durch die Bezeichnung „kurz und gut" kennzeichnen darf, denn sie enthält in 3¼ Druckbogen jene Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie, welche für das Verständniss der calorischen Maschinen nöthig sind, die Beschreibung der bereits sehr bekannt gewordenen einfach wirkenden kleinen Niederdruck-Maschine Ericsson's, die Behandlung derselben, die Theorie dieser, so wie die Theorie einer calorischen Maschine mit starker Compression und Expansion, eine kurze Erklärung der Gasmaschine und die Theorie derselben.

Sämmtliche Theile sind fasslich dargestellt, die Theorien fachgemäss, genügend genau, und durch numerische Beispiele erläutert.

Die beigegebene Tafel enthält die durch die Journale bekannte Scizze der Ericsson'schen Maschine.

Wenn der Herr Verfasser Seite 16 erwartet, „dass die calorischen Maschinen, jetzt nur in ihrer Kindheit, zu einer baldigen Reife gelangen, in der sie die Dampfmaschinen verdrängen werden", hingegen Seite 43 meint, „dass man sehr zu einem Zweifel an der Lebensfähigkeit der Lenoir'schen Maschine berechtigt sein wird", so drückt er sich wohl im ersten Fall zu sanguinisch, in letzterem zu ungünstig aus, wiewohl die calorische Maschine unbedingt mehr für sich hat, als die Gasmaschine. Mit der Menschenkraft wird immerhin letztere auch concurriren können.

Wir erwähnen noch einiger Redactionsmängel, damit dieselben in einer sicher nicht ausbleibenden dritten Auflage berücksichtiget werden mögen.

Seite 11 ist die Gleichung (9) zwar vollkommen richtig, indem sie unmittelbar aus (7) hervorgeht, allein der voranstehende Satz ist unrichtig und überflüssig. Auf derselben Seite Zeile 10 v. u. ist das Wort „innere Arbeit" unrichtig angebracht, denn zur Verrichtung der „inneren Arbeit" ist eben nur die Wärmemenge $v_0 \gamma_0 Sdt$, zur Verrichtung der

„äusseren Arbeit" aber die Wärmemenge $\frac{pdv}{k}$ erforderlich, die Summe dw dieser Wärmemengen ist daher die „Gesammtwärme", nicht die der inneren Arbeit entsprechende.

Wünschenswerth wäre es, wenn man sich allgemein der Bezeichnung Redtenbacher's bedienen würde, $\mathfrak{C}$ (statt S) für die rationelle Wärmecapacität, welche gleich ist der Wärmecapacität bei constantem Volumen, und $\mathfrak{C}'$ (statt s) für die Wärmecapacität bei constantem Druck, weil man die Buchstaben c, C, s, S in den Theorien der Maschinen gerne für andere Bedeutungen disponibel haben will.

Seite 43 Z. 4 v. u. lies:

$G = 0{,}45$ die Dichte des Leuchtgases für Luft $= 1$,

statt:

S das specifische Gewicht des Leuchtgases,

weil die Brochure nach jetzt üblicher Weise unter „specifischem Gewicht" das absolute Gewicht der Cubic-Einheit versteht also dieses Wort nicht auch noch in der früheren Bedeutung der relativen Dichte gebrauchen sollte.

Seite 46 Z. 6 u. s. f. sollte statt s die rationelle Wärmecapacität S eingesetzt sein, weil die bei der Verpuffung des Leuchtgases frei werdende Wärmemenge momentan blos zur Verrichtung innerer Arbeit verwendet wird.

Schliesslich sei bemerkt, dass in der Darstellung der Grundsätze der mechanischen Wärmetheorie nicht ganz der historischen Entwickelung dieser Lehre Rechnung getragen ist.

Die Gleichung (7) Seite 9, welche die Beziehung zwischen dem mechanischen Wärmeäquivalent und der Differenz der beiden Wärmecapacitäten ausdrückt, rührt keineswegs schon von Poisson her, sondern ist erst 1854, also 21 Jahre nach Publicirung der Poisson'schen Formeln von Person aufgefunden, und in den Comptes rendus, *t.* 39, *p.* 1131 publicirt worden. Poisson hat noch nichts vom mechanischen Wärmeäquivalent gewusst und seine Formeln auf ganz anderem Wege abgeleitet.

Es dürfte von Interesse sein, in freier, den gegenwärtigen Anschauungen angepasster Darstellung den Weg Poisson's zu reproduciren, auf welchem das sogenannte potenzirte Mariotte'sche Gesetz in Poisson's Traité de Mécanique *t.* II *p.* 637 abgeleitet ist.

Es sei Q die Gesammtwärme, welche verwendet werden muss, um auf irgend eine Weise 1 Kilogramm Gas aus dem (willkürlich festgesetzten) Anfangszustand bei 0,76 Meter Barometerstand und 0° Cels. Temperatur auf irgend einen Endzustand zu bringen, in welchem der Druck pr. Quadratmeter oder die Spannung $= p$ Kilogramm, die Temperatur $= t^0$ Cels., und das Gewicht des Cubicmeters, oder das specifische Gewicht $= \sigma$ ist.

Diese Wärmemenge Q hängt nicht nur von dem Endzustand des Gases ab, sondern auch von der Art und Weise, wie das Gas aus dem Anfangszustand in den Endzustand übergeführt worden ist. So ist es z. B. nicht einerlei, ob man aus Wasser von 0° direct Dampf von einer Atmosphäre erzeugt, oder ob man dieses Wasser in einem Kessel unter dem Druck von 5 Atmosphären verdampft, dann in einer Dampfmaschine wirken, und aus dieser erst mit atmosphärischer Pressung austreten lässt. In letzterem Fall braucht man mehr Wärme, weil äussere Arbeit theils auf die Dampfmaschine übertragen wurde, theils in der bewegten Masse des austretenden Dampfes enthalten ist.

Ebenso können die Umstände mannigfach sein, unter welchen ein Gas aus dem Anfangszustand in den Endzustand übergeführt wird. Es kann daher Q nicht eine **bestimmte** Function von p, t, σ sein, sondern es könnte Q höchstens eine, wenn auch an gewisse Bedingungen geknüpfte **willkürliche** Function von p, t, σ sein.

Da aber die drei Grössen p, t, σ durch das Gay-Lussac-Mariotte'sche Gesetz:

$$p = R\,(a + t)\,\sigma \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

verknüpft sind, worin R eine für jedes Gas verschiedene Constante, und $a = 272{,}85$ (zur Zeit Poisson's $a = 266{,}67$) den reciproken Werth des Ausdehnungscoefficienten 0,003665 bezeichnet, der für alle Gase und Dämpfe als practisch gleich angesehen werden darf, so kann auch Q als eine willkürliche Function von p und σ betrachtet werden, deren näherer Character zu ermitteln ist.

Wenn σ als constant angenommen wird, also sich das Volumen des Gases nicht ändert bei Zuführung der Wärmemenge dQ, so ist $dQ = \mathfrak{C}dt$, weil das Gasgewicht $= 1$ Kilogramm, und die Wärmecapacität bei constantem Volumen $= \mathfrak{C}$ ist. Wenn hingegen p als constant angenommen wird, also Wärme unter constantem Druck zugeführt wird, so ist:

$$dQ = \mathfrak{C}'dt.$$

Demnach ist:

$$\mathfrak{C} = \left(\frac{dQ}{dt}\right) = \left(\frac{dQ}{dp}\right)\left(\frac{dp}{dt}\right),$$

wenn σ als constant angesehen wird; und

$$\mathfrak{C}' = \left(\frac{dQ}{dt}\right) = \left(\frac{dQ}{d\sigma}\right)\left(\frac{d\sigma}{dt}\right),$$

wenn bei der Differenziation p als constant angesehen wird.

Aus (1) folgt aber

$$\left(\frac{dp}{dt}\right) = R\sigma = \frac{p}{a+t},$$

und aus

$$\sigma = \frac{p}{R\,(a+t)}$$

folgt:

$$\left(\frac{d\sigma}{d}\right) = -\frac{p}{R}\cdot\frac{1}{(a+t)^2} = -\frac{\sigma}{a+t},$$

folglich

$$\mathfrak{C} = \frac{p}{a+t}\left(\frac{dQ}{dp}\right) \quad \ldots \ldots \quad (2)$$

$$\mathfrak{C}' = -\frac{\sigma}{a+t}\left(\frac{dQ}{d\sigma}\right) \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Wird aus diesen beiden Gleichungen die Temperatur t eliminirt, indem man die erste mit $\mathfrak{C}'(a+t)$, die zweite mit $-\mathfrak{C}(a+t)$ multiplicirt und addirt, so folgt:

$$\mathfrak{C}'p\left(\frac{dQ}{dp}\right) + \mathfrak{C}\sigma\left(\frac{dQ}{d\sigma}\right) = 0,$$

oder wenn das Verhältniss:

$$\frac{\mathfrak{C}'}{\mathfrak{C}} = \varkappa \quad \ldots \ldots \quad (4)$$

gesetzt wird:

$$\varkappa p\left(\frac{dQ}{dp}\right) + \sigma\left(\frac{dQ}{d\sigma}\right) = 0 \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

Eine hierauf folgende subtile Untersuchung soll nun nachweisen, dass $\varkappa$ eine von p und σ unabhängige, also constante, nur von der Natur des Gases abhängige Grösse sei. Das Resultat dieser Untersuchung ist:

$$\varkappa = 1 + \frac{p - p''}{p'' - p'} \cdot \frac{p'}{p''} \quad \ldots \ldots \ldots (6)$$

Hierin bezeichnet (für die atmosphärische Luft):

p die ausserhalb eines Gefässes befindliche Spannung,

p' die etwas geringere Spannung der in dem Gefäss eingeschlossenen Luft von gleicher Temperatur t,

$t'' = t + \tau$ die etwas höhere Temperatur, welche entsteht, wenn ein Hahn so lange geöffnet wird, bis sich p' auf p erhöht hat,

p'' die etwas verminderte Spannung, welche zum Vorschein kommt, wenn sich die innere Luft von t'' auf t abgekühlt hat.

Derartige Versuche von Desormes und Clément ergaben (mit $p = 0^m{,}7665$, $p' = 0^m{,}7527$, und $p'' = 0^m{,}7629$ Quecksilbersäule) $\varkappa = 1{,}3482$; Gay-Lussac und Welter erhielten auf ähnliche Weise $\varkappa = 1{,}3748$. Auf andere Art hat Dulong (Mémoires de l'Académie des Sciences, t. X) $\varkappa = 1{,}421$ gefunden. Gegenwärtig nimmt man als wahrscheinlichsten Werth für atmosphärische Luft $\varkappa = 1{,}41$ an. Wenn aber $\varkappa$ eine von p und σ unabhängige Grösse ist, so lässt sich die Gleichung (5) leicht integriren. Sie muss, wie jede partielle Differenzialgleichung, ein Integral von der Form haben:

$$Q = \varphi(u), \quad \ldots \ldots \ldots (7)$$

worin φ das Zeichen einer völlig willkürlichen Function, u aber eine ganz bestimmte Function von p und σ bezeichnet, welche der partiellen Differenzialgleichung (5) für sich Genüge leistet; denn es folgt aus (7)

$$\left(\frac{dQ}{dp}\right) = \varphi'(u) \left(\frac{du}{dp}\right)$$
$$\left(\frac{dQ}{d\sigma}\right) = \varphi'(u) \left(\frac{du}{d\sigma}\right),$$

somit nach Einführung in (5):

$$\varkappa p \left(\frac{du}{dp}\right) + \sigma \left(\frac{du}{d\sigma}\right) = 0, \quad \ldots \ldots (8)$$

d. h. u ist eine der (5) Genüge leistende Function. Nun ist das vollständige Differenzial:

$$du = \left(\frac{du}{dp}\right) dp + \left(\frac{du}{d\sigma}\right) d\sigma,$$

und wenn statt $\left(\frac{du}{dp}\right)$ der Werth aus obiger Gleichung eingesetzt wird:

$$\left(\frac{du}{dp}\right) = -\frac{\sigma}{\varkappa p} \left(\frac{du}{d\sigma}\right),$$
$$du = \left(\frac{du}{d\sigma}\right) \left(d\sigma - \frac{\sigma}{\varkappa p}\, dp\right).$$

Dieser Gleichung würde unter anderm Genüge geleistet, wenn

$$u = C,\ d\sigma - \frac{\sigma}{\varkappa p}\, dp = 0$$

gesetzt würde. Aus letzterer gewöhnlicher Differenzialgleichung folgt:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{1}{\varkappa} \frac{dp}{p}$$

$$\log C\sigma = \frac{1}{\varkappa} \log p = \log p^{\frac{1}{\varkappa}},$$
$$C\sigma = p^{\frac{1}{\varkappa}},$$

wenn C die Integrationsconstante bedeutet.

Wenn aber die Gleichung (8) oder (9) durch die Annahme

$$\frac{p^{\frac{1}{\varkappa}}}{\sigma} = C = \text{Constans}$$

identisch erfüllt wird, so wird sie auch ebenso identisch erfüllt durch die Annahme

$$\frac{p^{\frac{1}{\varkappa}}}{\sigma} = u \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (10)$$

In der That folgt aus (10):

$$\left(\frac{du}{dp}\right) = \frac{1}{\varkappa\sigma}\, p^{\frac{1}{\varkappa} - 1}$$
$$\left(\frac{du}{d\sigma}\right) = -\frac{1}{\sigma^2}\, p^{\frac{1}{\varkappa}}$$

Diese Werthe in (8) eingesetzt, erhält man:

$$\frac{1}{\sigma}\, p^{\frac{1}{\varkappa}} - \frac{1}{\sigma}\, p^{\frac{1}{\varkappa}} = 0,$$

also wirklich eine identische Gleichung, folglich ist das gesuchte Integral der partiellen Differenzialgleichung (5), nach (7) und (10):

$$Q = \varphi\left(\frac{p^{\frac{1}{\varkappa}}}{\sigma}\right);$$

oder auch, da die Form φ willkürlich ist:

$$\varphi(Q) = \frac{p^{\frac{1}{\varkappa}}}{\sigma},$$
$$p^{\frac{1}{\varkappa}} = \sigma\, \varphi(Q),$$
$$p = \sigma^{\varkappa} [\varphi(Q)]^{\varkappa};$$

oder wenn einfach $\varphi(Q)$ statt der willkürlichen Function $[\varphi(Q)]^{\varkappa}$ gesetzt wird:

$$p = \sigma^{\varkappa} \varphi(Q) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (11).$$

Dies ist die allgemeine Integralgleichung der (5) und es bedeutet hierin $\varphi(Q)$ eine völlig willkürliche, nämlich von der willkürlichen Art und Weise, wie der Anfangszustand des Gases in den Endzustand desselben übergeführt wird, abhängige Function von Q.

Eine der möglichen Ueberführungsarten aus einem Zustand p, σ, t in einen Zustand p_1, σ_1, t_1 ist die, dass während des ganzen Processes (oder doch wenigstens summarisch) weder Wärme zugeführt, noch weggenommen wird.

In diesem Falle ist:

$$Q_1 = Q,$$

folglich:

$$p = \sigma^{\varkappa} \varphi(Q),$$
$$p_1 = \sigma_1^{\varkappa} \varphi(Q);$$

woraus

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_1}\right)^{\varkappa} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (12),$$

und wegen (1) oder:

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{a + t}{a + t_1}\right) \frac{\sigma}{\sigma_1},$$
$$\frac{a + t}{a + t_1} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_1}\right)^{\varkappa - 1} \quad \ldots \ldots \ldots (13)$$

folgt, und auch:

$$\frac{\sigma}{\sigma_1} = \left(\frac{a+t}{a+t_1}\right)^{\frac{1}{\varkappa-1}} \quad \ldots\ldots (14),$$

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{a+t}{a+t_1}\right)^{\frac{\varkappa}{\varkappa-1}} \quad \ldots\ldots (15).$$

$$\frac{a+t}{a+t_1} = \left(\frac{p}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}} \quad \ldots\ldots (16)$$

Das sind die Poisson'schen Formeln, von welchen die erste, nämlich die (12), von Redtenbacher mit dem Namen des potenzirten Mariotte'schen Gesetzes belegt wurde.

Gegenwärtig hat man nun freilich erkannt, dass diese Theorie zwar in dem Falle der Zustandsänderung ohne Wärmezuführung zu einem richtigen Resultat geführt hat, im Allgemeinen aber nicht zulässig ist.

Führt man nämlich, um den Vergleich mit Professor Zeuner's bekannten Grundzügen der mechanischen Wärmetheorie möglich zu machen, statt des specifischen Gewichtes σ das specifische Volumen

$$v = \frac{1}{\sigma},$$

nämlich das Volumen von einem Kilogramm Gas bei der Spannung p und der Temperatur t ein, so erhält man statt (1):

$$pv = R\,(a+t), \quad \ldots\ldots (17)$$

ferner

$$\left(\frac{dQ}{d\sigma}\right) = \left(\frac{dQ}{dv}\right)\left(\frac{dv}{d\sigma}\right) = -\frac{1}{\sigma^2}\left(\frac{dQ}{dv}\right),$$

mithin statt (5):

$$\varkappa p\left(\frac{dQ}{dp}\right) - \frac{1}{\sigma}\left(\frac{dQ}{dv}\right) = 0$$

oder

$$\varkappa p\left(\frac{dQ}{dp}\right) - v\left(\frac{dQ}{dv}\right) = 0. \quad \ldots\ldots (18)$$

Desgleichen statt (2) und (3) mit Rücksicht auf (17)

$$\mathfrak{C} = \frac{R}{v}\left(\frac{dQ}{dp}\right) \quad \ldots\ldots (19$$

$$\mathfrak{C}' = \frac{1}{(a+t)\sigma}\left(\frac{dQ}{dv}\right) = \frac{v}{a+t}\left(\frac{dQ}{dv}\right)$$

$$\mathfrak{C}' = \frac{R}{p}\left(\frac{dQ}{dv}\right), \quad \ldots\ldots (20)$$

und wenn

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{dQ}{dp}\right) &= X\\ \left(\frac{dQ}{dv}\right) &= Y\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (21)$$

gesetzt wird, nach (18), (19), (20):

$$\varkappa pX - vY = 0 \quad \ldots (22)$$

$$\mathfrak{C}v = RX \quad \ldots (23)$$

$$\mathfrak{C}'p = RY, \quad \ldots (24)$$

und im Sinne Poisson's:

$$dQ = Xdp + Ydv. \quad \ldots\ldots (25)$$

Hieraus folgt nun allerdings die vollkommen richtige Gleichung:

$$dQ = \frac{\mathfrak{C}v}{R}\,dp + \frac{\mathfrak{C}'p}{R}\,dv$$

$$dQ = \frac{1}{R}(\mathfrak{C}vdp + \mathfrak{C}'pdv) \quad \ldots\ldots (26)$$

genau so, wie sie die gegenwärtige mechanische Wärmetheorie ergibt [siehe Zeuner Seite 43 Glchg. (35)], allein nach unserer Erfahrung sind $\mathfrak{C}$ und $\mathfrak{C}' = \varkappa\mathfrak{C}$ für ein bestimmtes Gas absolute Constanten, unabhängig von p und v, folglich nach (23) und (24):

$$\left(\frac{dX}{dv}\right) = \frac{\mathfrak{C}}{R},$$

$$\left(\frac{dY}{dp}\right) = \frac{\mathfrak{C}'}{R} = \frac{\varkappa\mathfrak{C}}{R};$$

also ist

$$\left(\frac{dY}{dp}\right) - \left(\frac{dX}{dv}\right) = \frac{1}{R}(\mathfrak{C}' - \mathfrak{C}), \quad \ldots\ldots (27)$$

mithin

$$\left(\frac{dX}{dv}\right) \text{ nicht } = \left(\frac{dY}{dp}\right);$$

folglich ist die Gleichung (25) nicht für sich integrabel, d. h. es sind die Gleichungen (21), aus welchen

$$\left(\frac{dX}{dv}\right) = \left(\frac{dY}{dp}\right) = \left(\frac{d^2Q}{dp\,dv}\right)$$

folgen würde, nicht richtig.

Die mechanische Wärmetheorie lehrt vielmehr, dass

$$\left(\frac{dY}{dp}\right) - \left(\frac{dX}{dv}\right) = A = \frac{1}{k} = \frac{1}{424}$$

gleich dem Arbeitsäquivalent A der Wärmeeinheit, oder dem reciproken Werth des mechanischen Wärmeäquivalentes k sei, folglich nach (27):

$$\frac{1}{k} = \frac{(\mathfrak{C}' - \mathfrak{C})}{R},$$

$$k\,(\mathfrak{C}' - \mathfrak{C}) = R, \quad \ldots\ldots (28)$$

und dies ist eben die von Person aufgefundene Formel.

Die Poisson'sche Gleichung (22), welche sich aus (23) und (24) durch Elimination von R ergibt:

$$\mathfrak{C}'pX - \mathfrak{C}vY = 0$$

oder

$$\varkappa pX - vY = 0$$

ist daher vollkommen richtig, sie darf aber nicht als partielle Differenzialgleichung:

$$\varkappa p\left(\frac{dQ}{dp}\right) - v\left(\frac{dQ}{dv}\right) = 0$$

nach den gewöhnlichen Regeln integrirt werden, weil eben $\left(\frac{dX}{dv}\right)$ nicht $= \left(\frac{dY}{dp}\right)$ ist. Folglich ist auch das Poisson'sche Integral:

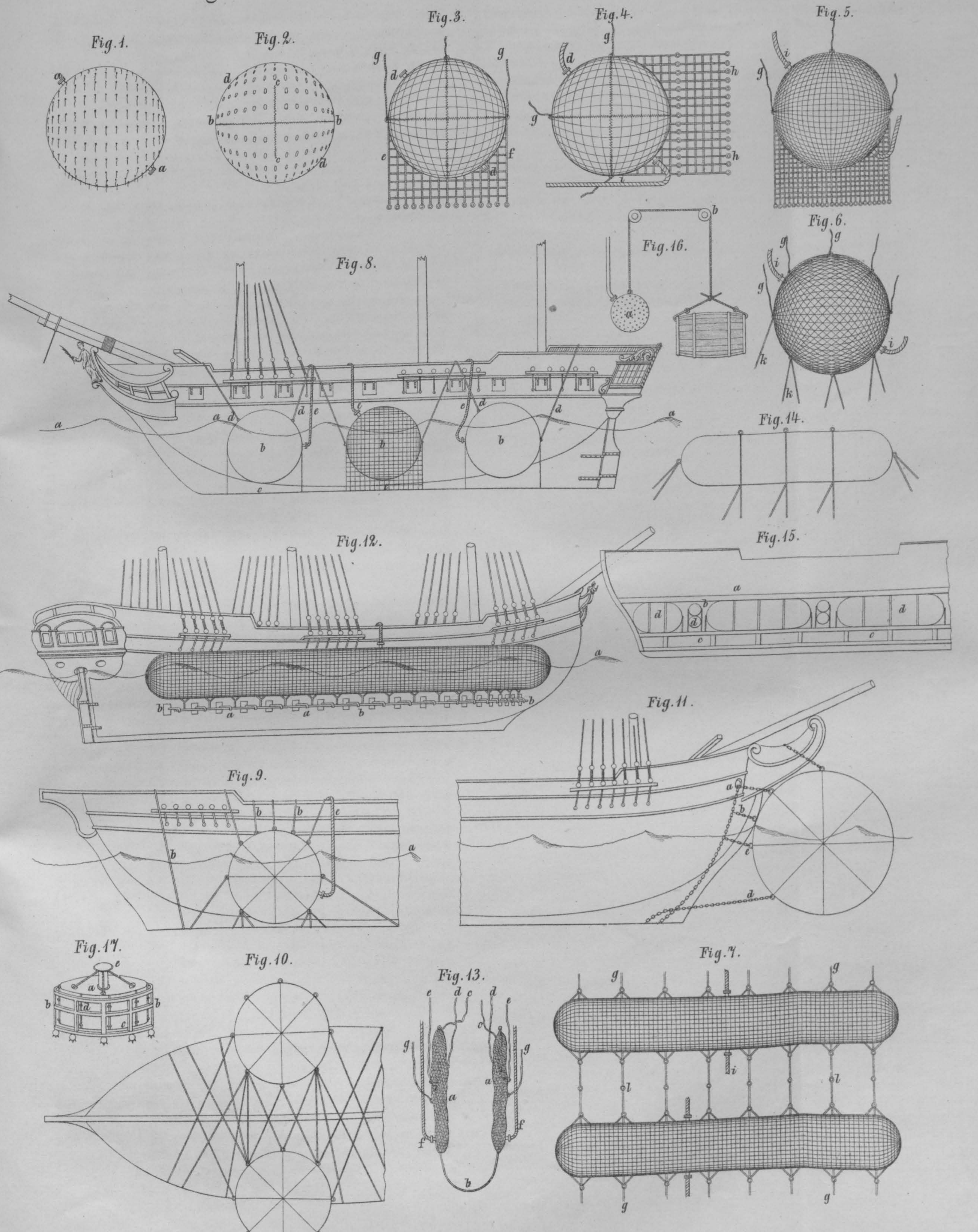
$$Q = \varphi\left(vp^{\frac{1}{\varkappa}}\right)$$

nicht zulässig.

Dessungeachtet ist dieser Fall eines der interessantesten Beispiele, wie die Heroen der Wissenschaft oft ihrer Zeit voraneilen!

Gustav Schmidt.

Vorrichtung zur Erleichterung der Schwimmfähigkeit von Schiffen etc.



VIII. Project einer steiffen Kettenbrücke.

Von Jos. Langer.